

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



Supplemento al n. 2/2012

ISSN 1591-5352

Atti del convegno nazionale
DISSESTO IDROGEOLOGICO
Il pericolo geoidrologico
e la gestione del territorio in Italia
Roma, 10 giugno 2011
a cura di Luciano Masciocco

Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - DCB Roma



COMITATO SCIENTIFICO

Roberto AJASSA
Giuseppe BASILE
Marcello BENEDINI
Giorgio CESARI
Domenico Antonio DE LUCA
Francesco FACCINI
Antonello FIORE
Mauro FORNARO
Giuseppe GISOTTI
Giancarlo GUADO
Fausto GUZZETTI
Ugo MAJONE
Luciano MASCIOTTO
Franco ORTOLANI
Luigi PENNETTA
Maurizio POLEMIO
Sergio STORONI RIDOLFI
Massimo VELTRI
Andrea VITTURI

RESPONSABILE ORGANIZZATIVO

Luciano MASCIOTTO

COMITATO ORGANIZZATORE

Marcello BENEDINI
Giorgio CESARI
Giuseppe GISOTTI
Fausto GUZZETTI
Luciano MASCIOTTO
Maurizio POLEMIO

SEGRETERIA SCIENTIFICA

Lucia BAIMA
Caterina CAVIGLIA
Enrico DESTEFANIS
Vittoria DRAGONE

ENTI PATROCINATORI

Anno Internazionale del Pianeta Terra
Associazione Georisorse e Ambiente
Associazione Italiana di Geografia Fisica e Geomorfologia
Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale
Consiglio Nazionale dei Geologi
Coordinamento delle Associazioni Tecnico-scientifiche per l'Ambiente e il Paesaggio
Dipartimento di Scienze della Terra Università degli Studi di Torino
EuroGeoSurveys
Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Ordine degli Agronomi della Provincia di Roma
Ordine degli Architetti della Provincia di Roma
Ordine dei Geologi del Lazio
Ordine dei Dottori Agronomi e dei Dottori Forestali di Roma
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
Società Geologica Italiana

CON IL SOSTEGNO DI
Geobru gg Italia SRL
Gruppo Officine Maccaferri
Prati Armati® S.r.l.



irpi

Roma, 10 giugno 2011
Aula convegni del CNR - Piazzale Aldo Moro, 7

Convegno Nazionale

DISSESTO IDROGEOLOGICO Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia

Organizzato da

SIGEA (Società Italiana di Geologia Ambientale)
CNR-IRPI (Istituto di Ricerca sulla Protezione Idrogeologica)
All (Associazione Idrotecnica Italiana)

PRESENTAZIONE

Il Convegno è indirizzato in modo particolare ai tecnici e ai ricercatori (geologi, ingegneri, architetti, agronomi, forestali, ecc.) interessati alla problematica del dissesto idrogeologico, per fornire un quadro aggiornato sulla gestione del nostro territorio, in gran parte soggetto ai pericoli di frana e inondazione. A tal fine si prevede il coinvolgimento dei "decisori" (politici e amministratori pubblici), del personale tecnico delle istituzioni pubbliche competenti nonché delle imprese che operano in questo settore.

Il convegno si concentra inizialmente sui fenomeni franosi e alluvionali che continuano a colpire il nostro Paese, sull'occupazione da parte dell'uomo delle zone pericolose, sugli interventi strutturali per ridurre la vulnerabilità dei beni esposti (e di conseguenza il rischio idrogeologico) e sulla gestione dell'emergenza. Particolare attenzione sarà rivolta agli interventi non strutturali utili alla prevenzione del rischio idrogeologico. Nella seconda parte del convegno si intende focalizzare la discussione su alcuni argomenti specifici. Da un lato, si vuole valutare l'opportunità che anche in Italia, come in altri Paesi, si adottino forme di assicurazione sui beni esposti al rischio idrogeologico, con possibili ripercussioni positive sia sulla spesa pubblica in materia di difesa del suolo sia sulla responsabilizzazione della popolazione. D'altro canto si vogliono individuare, alla luce dell'entrata in vigore del d.lgs. 152/2006 e s.m.i. e del Decreto Legislativo n. 49/2010, attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, le competenze pubbliche in materia di difesa del suolo e possibilmente invitare le istituzioni pubbliche a illustrare le attività, i programmi e le problematiche riguardanti la corretta gestione del territorio, nonché esempi di buone pratiche.

Altro argomento è quello della rilevanza dei fondi destinati agli interventi in materia di difesa del suolo, anche in considerazione degli Accordi di Programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e le Regioni. Si vuole infine ricordare che il corretto uso del territorio non dipende solo dall'esistenza di buone leggi, ma soprattutto sulla loro corretta applicazione da parte delle Amministrazioni Locali, dei tecnici abilitati e dei cittadini: senza la collaborazione virtuosa tra tali soggetti, sarà difficile ridurre il rischio idrogeologico nel nostro Paese.

Comitato scientifico

Mario Bentivenga, Aldino Bondesan,
Giancarlo Bortolami, Aldo Brondi,
Felice Di Gregorio, Giuseppe Gisotti,
Giancarlo Guado, Gioacchino Lena,
Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro

Consiglio Direttivo nazionale 2010-2013

Davide Baioni, Domenico Bartolucci,
Federico Boccalaro, Giancarlo Bortolami,
Paolo Cortopassi, Antonio Fiore (*Tesoriere*),
Fabio Garbin (*Segretario*), Francesco Geremia,
Giuseppe Gisotti (*Presidente*), Maria Grotta,
Gioacchino Lena (*Vice Presidente*),
Massimo Massellani, Vincent Ottaviani,
Andrea Vitturi, Francesco Zarlenga

Comitato di redazione

Federico Boccalaro, Giorgio Cardinali,
Giovanni Conte, Gioacchino Lena,
Paola Mauri, Maurizio Scardella

Direttore responsabile

Giuseppe Gisotti

Procedura per l'accettazione degli articoli

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione,
dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con
i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti
ad un giudizio di uno o più Referees.

Redazione

SIGEA: tel./fax 06 5943344
Casella Postale 2449 U.P. Roma 158
info@sigeaweb.it
www.sigeaweb.it

Progetto grafico e impaginazione

Fralerighe
tel. 0774 554497 - fax 0774 2431193
info@fralerighe.it
www.fralerighe.it

Pubblicità

SIGEA

Stampa

Realizzato per print on demand

Abbonamento annuale: Euro 30,00

Sommario

Premessa	5
LUCIANO MASCIOTTO	
Saluto agli intervenuti	6
GIUSEPPE GISOTTI	
Il rischio idrogeologico in Italia e il ruolo della ricerca scientifica	7
FAUSTO GUZZETTI, MAURIZIO POLEMIO	
Saluto dell'Associazione Idrotecnica Italiana	9
MARCELLO BENEDINI	
PRIMA SESSIONE	
LO STATO DELLE COMPETENZE IN MATERIA DI DIFESA DEL SUOLO ALLA LUCE DELL'ATTUALE NORMATIVA: ATTIVITÀ, PROGETTI, PROBLEMATICHE	
Urbanistica e rischio idrogeologico	13
PAOLO BERDINI	
Dal Piano di assetto idrogeologico al Piano di gestione del rischio di alluvioni ai sensi della direttiva 2007/60/CE	15
CARLO FERRANTI, VALENTINA VITALE	
SECONDA SESSIONE	
LE CAUSE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN ITALIA - CASI DI STUDIO	
The December 2009 and October 2010 Meteorological Events in Northern Tuscany (Italy)	24
GIACOMO D'AMATO AVANZI, YURI GALANTI, ROBERTO GIANNECCHINI	
L'evento alluvionale del 22 ottobre 2008 nel comune di Capoterra (Sardegna Meridionale)	28
MARIA RITA LAI, ANTONIO SAU	
Relazioni tra maree eccezionali, "Acqua Alta" ad Ischia Porto e recenti dissesti delle fasce costiere	37
VALERIO BUONOMO, FRANCO ORTOLANI, SILVANA PAGLIUCA	
Sprofondamenti connessi a cavità di origine antropica in Puglia	41
ANTONELLO FIORE, MARIO PARISE	
L'influenza della piovosità e dell'antropizzazione sulla serie storica delle piene catastrofiche (Calabria sud-occidentale)	46
OLGA PETRUCCI, ANGELA AURORA PASQUA, MAURIZIO POLEMIO	
La pericolosità geomorfologica dei bacini di Briga e Giampilieri (Messina) in seguito all'evento del 1 Ottobre 2009	50
PUGLISI C., CAMPOLO, FALCONI L., LEONI G., LUMACA S.	
La frana di Sapri (23 novembre 2010) lungo la SS 18 Tirrenica inferiore: esempio di fenomeno eccezionale lungo versanti carbonatici	54
ROMEO MARIANO TOCCACELI	

In copertina: Soil slip presso Dogliani – alluvione Piemonte 1994. Foto di L. Masciocco.

Il dissesto idrogeologico in Calabria: dati disponibili e loro possibili applicazioni 59

OLGA PETRUCCI, ANGELA AURORA PASQUA

TERZA SESSIONE

MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - INTERVENTI STRUTTURALI

La grande frana di San Fratello (ME) del 14 febbraio 2010 67

BASILE GIUSEPPE, CAFISO FABIO, LO MONACO PIETRO, PANEBIANCO MARINELLA

Consolidamento idrogeologico e ripristino della viabilità interrotta ad Aliano (MT) 73

NEDO BIANCANI

La regimazione delle acque superficiali: il caso di Lavacchio (MS) 76

PAOLO CORTOPASSI

Un esempio di gestione dei rischi idrogeologici lungo l'asta terminale del fiume Fortore attraverso interventi di tipo strutturale e non strutturale 81

FEDELE CUCULO, ALBERTO DI LUDOVICO, ANTONIO DI LUZIO, ANNUNZIATA DI NIRO, ORLANDO EMANUELE, PIETRO FARACE, SERGIO GASPARRELLI, MARIA PINA IZZO

Un Rilevato Paramassi nella frazione Cretaz a Cogne (AO). Una terra rinforzata con il sistema Terramesh verde di Officine Maccaferri 86

GIANLUCA UGUCCIONI

Barriere flessibili per frane superficiali, test in vera grandezza, modellazione ed esperienze in Italia 91

JUAN PABLO ESCALLON, CORINNA WENDELER, LOUIS BUIGNON, GUIDO GUASTI, ALBERTO CAPRINALI

Mitigazione e prevenzione del rischio idrogeologico 89

CATELLO MASULLO, ANDREA MASULLO

La protezione superficiale dei suoli come prevenzione dall'erosione e contributo alla manutenzione di frane stabilizzate 103

CLAUDIO ZAROTTI, TIZIANA VERRASCINA

QUARTA SESSIONE

PREVENZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO - PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Rischio idraulico e pianificazione in provincia di Venezia 111

ANDREA VITTURI, VALENTINA BASSAN, CHIARA FASTELLI

Delimitazione delle aree a rischio da colate detritiche in Friuli Venezia Giulia 115

CHIARA CALLIGARIS, LUCA ZINI, FABRIZIO KRANITZ, PAOLO MANCA

Monitoraggio e modellistica dell'innesco di frane superficiali su versanti vegetati in Toscana 119

FEDERICO PRETI, ANDREA DANI

Stato dell'arte della dendrocronologia applicata ai movimenti di versante 124

ROSANNA FANTUCCI

Proposta di una metodologia di analisi del rischio territoriale 128

EMANUELE LORET, FRANCO MEDICI, CARLO TESTANA

Shallow landslides susceptibility assessment: application and comparison of physically based models in an area of Oltrepo Pavese	132
CLAUDIA MEISINA, DAVIDE ZIZIOLI	
Dal dissesto idrogeologico al <i>disastro antropologico</i>	138
ORAZIO PATTI	
Modellizzazione della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico nel Rio San Girolamo di Capoterra (Sardegna SW)	143
FRONGIA P., PIRAS G., SCIONIS N.	
SESSIONE POSTER	
Fragilità territoriale e rischio da frana: l'esempio della frana di contrada Vivara (Trivento, Molise)	149
AUCELLI P. P. C., BARANELLO S., BRACONE V., DI LALLO G., DI LISIO A., DI PAOLA G., D'UVA L., ROSSKOPF C. M., SCAPILLATI N.	
Piogge intense e dissesto idrogeologico in piemonte	156
LUCIA BAIMA, SECONDO BARBERO, MANUELA BASSI, C. CAVIGLIA, E. DESTEFANIS, LUCIANO MASCIOTTO	
Studio della frana di contrada Barba a Sant'Angelo di Brolo (Messina)	160
BASILE GIUSEPPE, CAPPOTTO FILIPPO	
L'emergenza Nebrodi 2010 in Sicilia	164
GIUSEPPE BASILE, MICHELE ORIFICI, MARINELLA PANEBIANCO	
Modello sperimentale di allerta e relative procedure operative per le aree della provincia di Messina vulnerate dall'evento del 1° ottobre 2009	168
GIUSEPPE BASILE, MARINELLA PANEBIANCO	
Ingegneria naturalistica per la difesa del suolo e la protezione ambientale	172
FEDERICO BOCCALARO	
Gli effetti sull'ambiente naturale del sisma del 6 aprile 2009	178
GIANCARLO BOSCAINO, GIORGIO PIPPONZI	
Importanza della gestione e manutenzione delle opere di difesa da caduta massi	183
OSVALDO CARGNEL	
L'effetto degli incendi sulla stabilità dei versanti	189
ANDREA CHINES	
La Frana di Castagnola (Comune di Framura, Provincia della Spezia)	193
MARCO DEL SOLDATO	
Indici di instabilità atmosferica e distribuzione degli eventi pluviometrici estremi in Italia	197
SALVATORE GABRIELE, FRANCESCO CHIARAVALLI, ANTONELLO MUTO, GIUSEPPE MUSSO	
Cause dell'evento alluvionale del 19 ottobre 2010 nel bacino del Torrente della Grazia (Tropea, Calabria)	201
FABIO LETTO	
I dissesti di Fiumefreddo Bruzio (Calabria)	206
GIOACCHINO LENA, GIUSEPPINA LEPERA, GAETANO OSSO	

Determinazione su base geomorfologica della suscettibilità alla <i>gully erosion</i> mediante GIS ed analisi statistica bivariata PAOLO MAGLIULO, RENATO DI PALMA	214
Predire la morfologia fluviale nella riqualificazione fluviale La metodologia VALURI ANDREA NARDINI, SARA PAVAN	219
Analisi di dati SAR satellitari e GPS come approccio preliminare alla gestione del rischio idrogeologico FABIO NICOTERA, GIOVANNI MARCO BOSETTI	223
Impatto dei recenti tsunami oceanici in relazione alla morfologia della zona costiera FRANCO ORTOLANI, SILVANA PAGLIUCA	228
L'evento idrogeologico del 1° marzo 2011 di Mili San Pietro (Messina Sud) lancia l'allarme alvei-strada FRANCO ORTOLANI, PEPPE CARIDI, SILVANA PAGLIUCA	235
Il dissesto idrogeologico in ambiente carsico MARIO PARISE	242
Indagine geofisica su movimento franoso lungo una strada comunale GABRIELE PALUMMO, MONICA RONTINI	247
Differenti scenari di pericolosità da frana: guida all'analisi territoriale ed alla restituzione dei dati PENNETTA MICLA, BAISTROCCHI FEDERICO, ELIO LO RUSSO, LEONARDO PACE	254
Stima dell'erosione dei suoli nel territorio della regione Abruzzo PICCINI CHIARA, MARCHETTI ALESSANDRO, SANTUCCI SERGIO, CHIUCHIARELLI IGINO, FRANCAVIGLIA ROSA	257
Variabilità climatica e ricorrenza delle calamità idrogeologiche in Puglia POLEMIO MAURIZIO, LONIGRO TERESA	262
Analisi della tipologia di trasporto nei sistemi bacino-conoide della Campania VITTORIA SCORPIO, DAUNIS-I-ESTADELLA P., V. DI DONATO, J.A. MARTÍN-FERNANDEZ, P. ROMANO, N. SANTANGELO	267
Modificazioni geoambientali (naturali e antropogeniche) e rischio costiero nella Baia di Sapri (Cilento) FRANCESCO CORTESE, ROMEO MARIANO TOCCACELI	271
L'utilizzo di invasi per la mitigazione del rischio idrogeologico TOJA M., DI MARTINO L., RICCA G., MASCIOTTO L., COLASUONNO A.	276
La dimensione territoriale del riassetto idrogeologico ALESSANDRA VALENTINELLI, MARCO ZUMAGLINI	281
Un grande movimento franoso in alto Molise: la frana di "Colle Lapponi - Piano Ovetta" nel comune di Agnone (IS) MAURO SALZANO	286

Il convegno nazionale *"DISSESTO IDROGEOLOGICO - Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia"*, tenutosi a Roma nell'Aula convegni del CNR il 10 giugno 2011 rappresenta, insieme ai relativi atti riportati nel presente volume, il primo prodotto dell'Area Tematica "Dissesto Idrogeologico" della SIGEA - Società Italiana di Geologia Ambientale.

Gli aderenti all'Area Tematica "Dissesto Idrogeologico" intendono perseguire le seguenti finalità:

- condurre ricerche sui fenomeni legati al dissesto idrogeologico, nonché esporne i risultati tramite contributi in convegni e pubblicazioni;
- porsi come interlocutori nei confronti della pubblica amministrazione riguardo all'evoluzione normativa sulla pianificazione territoriale in relazione alla pericolosità geomorfologica;
- svolgere attività di informazione proponendo seminari nelle scuole.

Nell'accezione comune, i termini dissesto idrogeologico e rischio idrogeologico vengono usati per definire i fenomeni e i danni reali o potenziali causati dagli eventi meteorici estremi. Le manifestazioni più tipiche di dissesto idrogeologico sono costituite dalle frane e dalle alluvioni.

Nel nostro paese, circa il 70% dei comuni ricade in aree classificate ad alto pericolo idrogeologico (aree con pericolo di frana, di alluvione o misto). Preso atto dell'alto livello di rischio che caratterizza gran parte del territorio italiano, si è provveduto a un aggiornamento della normativa vigente in materia di difesa del suolo, accompagnato da un nuovo impulso della ricerca scientifica nei confronti di tali problematiche.

Lo studio di queste ultime, oltre ad avere un indubbio interesse scientifico, riveste particolare importanza poiché costituisce un indispensabile supporto alle Amministrazioni competenti nella definizione delle aree a rischio, nella sperimentazione di nuovi sistemi di controllo e di intervento per la salvaguardia dei soggetti a rischio (popolazione, centri abitati, infrastrutture).

Poiché il principale elemento di innesco dei dissesti geo-idrologici è rappresentato



dalle piogge, è necessario disporre di un aggiornato sistema di controllo delle precipitazioni atmosferiche e del sistema idrografico superficiale, attraverso una rete di pluviografi e idrografi capillarmente distribuiti sul territorio nazionale.

Infatti, attraverso modelli meteorologici e modelli numerici di trasformazione afflussi-deflussi, è possibile effettuare valutazioni di carattere previsionale sulla formazione ed evoluzione di un evento meteorico estremo e, quindi, sulle conseguenti portate di piena attese per un certo bacino idrografico. In alcuni casi, specialmente per le frane superficiali, strettamente legate ai fenomeni di pioggia, è possibile applicare tale valutazione di tipo previsionale anche alla pericolosità legata ai fenomeni gravitativi. Le principali informazioni relative al dissesto idrogeologico vengono oggi archiviate ed elaborate attraverso sistemi geografici informatizzati (GIS), che consentono di elaborare carte tematiche e utili ai fini della valutazione del rischio.

Lo sviluppo socio-economico e demografico ha portato allo sfruttamento e all'occupazione di determinati contesti ambientali, quali le piane alluvionali, senza tenere conto della loro naturale tendenza evolutiva. Tale sviluppo, nonostante gli indubitabili benefici apportati alla società, ha però saturato e "imbrigliato" il territorio attraverso la costruzione di numerose opere, l'utilizzo di tecniche agricole produttive estensive assai poco rispettose degli equilibri idrogeologici, l'aumento della propensione al dissesto e, di

conseguenza, l'incremento significativo del rischio ad esso associato.

Al fine di prevenire il rischio idrogeologico, la normativa tende all'individuazione delle aree a diversa pericolosità geomorfologica a livello comunale (piani regolatori). In tal modo, non si dovrebbero più costruire edifici in zone molto pericolose, mentre, per le costruzioni esistenti dovrebbero essere costruite difese, attenuando il rischio geomorfologico attraverso la diminuzione della vulnerabilità dei beni esposti. Non rispettare tali regole di buon senso ha provocato e continua a provocare ingenti danni e vittime nel nostro paese. Per tale ragione, da molti settori del mondo politico e scientifico si avverte la necessità di una maggiore responsabilizzazione dei privati cittadini nella corretta localizzazione dei manufatti da inserire nel territorio con l'introduzione di prescrizioni assicurative.

Gli atti di questo convegno affrontano le problematiche sopra citate e vengono esposti raggruppati nelle seguenti sessioni:

- I. lo stato delle competenze in materia di difesa del suolo alla luce dell'attuale normativa: attività, progetti, problematiche,
 - II. le cause del dissesto idrogeologico in Italia - casi di studio,
 - III. mitigazione del rischio idrogeologico - interventi strutturali,
 - IV. prevenzione del rischio idrogeologico - pianificazione territoriale,
- con la speranza che le informazioni ivi riportate possano essere utili a rendere più sicuro il nostro Bel Paese.

Abbiamo ottimi ingegneri, geologi, architetti, agronomi, progettisti e pianificatori, ma ciò non impedisce lo squallore di tante costruzioni, di tanti quartieri urbani, lo sconquasso del paesaggio, il dissesto idrogeologico con frane, alluvioni, subsidenza artificiale, ecc.; il disordine urbano e territoriale è sotto i nostri occhi.

Cosa fare? Cosa suggerire?

Bisogna abbandonare il concetto dello sviluppo per lo sviluppo, della crescita solo economica, e abbracciare il concetto della sicurezza e della bellezza innanzi tutto. Rifacciamoci a Vitruvio, il quale diceva che i parametri fondamentali dell'architettura erano la *firmitas*, la *utilitas* e la *venustas*, cioè la struttura statica, ossia la sicurezza, la funzionalità e l'estetica ossia la bellezza.

Questi criteri, secondo me, sono punto di partenza per l'argomento dell'odierno Convegno: noi discutiamo di fenomeni che mietono vittime, provocano danni gravissimi, processi che si ripresentano quasi regolarmente e colpiscono spesso gli stessi luoghi. Eppure si fa poco per prevenirli, per evitarli, o almeno per limitare il numero delle vittime e i danni più gravi.

Perché? Si parla da molto tempo, specialmente dall'alluvione del 1966, di investire più risorse economiche nella prevenzione e riduzione del rischio, ma queste risorse sono sempre insufficienti, come faceva rilevare la Commissione De Marchi nei primi anni '70.

Ma secondo me la causa principale delle vittime e dei danni non sta tanto nella scarsità delle risorse economiche per la lotta al dissesto, quanto nell'uso dissennato del territorio e delle sue risorse, che deriva dalla concezione sempre più utilitaristica delle risorse naturali, usate per ricavare il massimo profitto nel minor tempo possibile.

La questione della privatizzazione dell'acqua è esemplare a questo riguardo. Adesso si è aggiunta la prevista privatizzazione delle spiagge.

In questi anni è emerso anche il fenomeno (naturale o artificiale? ai posteri l'ardua sentenza) dei cambiamenti climatici.

Sappiamo tutti della fragilità geomorfologica del nostro territorio, della scarsità/vulnerabilità delle risorse naturali, della naturale pericolosità climatica, ma a maggior

ragione la nostra società dovrebbe essere molto più attenta nell'utilizzo del territorio, cosa che invece non avviene.

Non solo i precedenti danni da alluvioni e frane, ma anche quelli più recenti, sono dipesi dalla nostra sottovalutazione dei naturali processi geologici, idrologici e climatici, dall'aver considerato il territorio come un supporto inerte e non soggetto a delicati equilibri geodinamici. I casi di Scaletta Zanclea (una colata rapida di fango nel 2009) e di Soverato (un'alluvione nel 2000) sono solo degli esempi. Il camping a Soverato aveva occupato lo spazio naturale del corso d'acqua, era una "zona a rischio idrogeologico" riconosciuta dalla Regione, malgrado questo è stato tollerato; altra "tragedia annunciata". Il Consiglio dei Ministri ha per l'occasione proclamato lo stato di emergenza: è il solito ritornello.

Di chi è la colpa? Di alcuni privati che costruiscono abusivamente nelle aree a rischio, ma anche di tanti pubblici amministratori che autorizzano costruzioni in zone ad alta pericolosità idrogeologica, di pubblici dipendenti con funzioni di controllo tecnico che "chiudono gli occhi", di alcuni liberi professionisti che in modo superficiale, con la scusa di "portare a casa la pagnotta", danno il loro assenso, firmano progetti di opere ad alto rischio.

Un mistero è quello per cui si continua a costruire decine di migliaia di nuove abitazioni, quando ve ne sono altrettante vuote, nelle città come nei paesini; costruzioni che spesso

vanno a occupare aree ad alto rischio idrogeologico (o già soggette a frane o alluvioni)

Ritornando a quanto ho detto all'inizio, la nostra società, quella occidentale in genere ma quella italiana attuale in particolare, ha perduto il senso della misura, prevale l'interesse "particolare" e la corsa al profitto e allo sfruttamento accelerato di tutto ciò che abbiamo sottomano, non solo non interessandosi di ciò che lasceremo alle prossime generazioni (quindi niente sviluppo sostenibile), ma provocando danni spesso immediati a noi stessi, con ciò vanificando la nostra presunta intelligenza o meglio furbizia.

I possibili rimedi? Anzitutto si tratta di comportamenti sociali: è necessaria una migliore coscienza civile da parte dei cittadini e dei politici e amministratori, coscienza che secondo me non è mai scesa così in basso come in questi ultimi anni.

Gli interventi strutturali di recupero certamente sono utili, ma servono anzitutto interventi non strutturali, cioè una corretta pianificazione territoriale e urbanistica. Qui entra il discorso che, a causa della scarsità delle risorse finanziarie, conviene abbandonare alcuni siti, territori o centri abitati, a rischio troppo elevato, dove non conviene intervenire poiché i costi economici e di risanamento strutturale sono troppo elevati.

Forse sono stato troppo pessimista, ma adesso sentirò quello che hanno da dirci tanti giovani studiosi e ricercatori e da loro spero di avere speranze per il futuro.



Il maltempo che colpì Roma nel dicembre 2008 provoca un'ondata di piena del fiume Tevere.

Il rischio idrogeologico in Italia e il ruolo della ricerca scientifica

FAUSTO GUZZETTI
CNR-IRPI
e-mail: fausto.guzzetti@irpi.cnr.it

MAURIZIO POLEMIO
CNR-IRPI

In Italia, le frane e le inondazioni sono fenomeni diffusi, ricorrenti e pericolosi. Fra il 1960 e il 2011 ci sono stati almeno 789 eventi di frana che hanno prodotto oltre 5000 vittime (di cui 3417 morti e 15 dispersi) in 522 comuni (6,4% del totale). Nello stesso periodo si sono verificati almeno 505 eventi d'inondazione che hanno prodotto più di 1700 vittime (di 753 morti e 68 dispersi), in 372 comuni (4,6% del totale). Fra il 2005 e il 2011, si sono avuti 82 eventi di frana che hanno prodotto oltre 480 vittime (101 morti, 6 dispersi, 374 feriti) in 70 comuni, e 39 inondazioni in altrettanti comuni con 89 vittime (59 morti, 1 disperso, 29 feriti). Nel periodo 2005-2011 tutte le Regioni hanno sofferto almeno un evento di frana o d'inondazione con vittime, a conferma della diffusione geografica del rischio geo-idrologico. Le cifre dimostrano inequivocabilmente come l'impatto che gli eventi geo-idrologici hanno sulla popolazione sia un problema di rilevanza sociale prima che d'interesse scientifico.

Da oltre vent'anni, prima nell'ambito delle attività di ricerca condotte dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), e successivamente nell'ambito di attività di ricerca e sviluppo tecnologico svolte per il Dipartimento nazionale della Protezione Civile, della Presidenza del Consiglio dei Ministri o per altri soggetti con competenze territoriali regionali o sub-regionali, l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) raccoglie, organizza e analizza informazioni sull'impatto che eventi di frana e d'inondazione hanno sulla popolazione. Il catalogo storico si spinge a ritroso nel tempo fino all'anno 68 d.C. ed è sempre più esaustivo in forza di una infaticabile ricerca storica svolta dalla comunità scientifica dell'IRPI.

Le informazioni contenute nel catalogo storico sono state utilizzate per definire i livelli di rischio cui è soggetta la popolazione italiana, e a studiare come il cosiddetto rischio sociale geo-idrologico sia cambiato geograficamente e temporalmente (Guzzetti, 2000; Guzzetti *et al.* 2005a,b; Salvati *et al.* 2003, 2010, in stampa). In estrema sintesi si nota che, facendo riferimento al periodo 1950-2010, il rischio più elevato compete al Trentino-Alto Adige e in

Campania mentre il più basso si deve all'Emilia-Romagna e alla Puglia.

L'analisi della variazione temporale degli eventi geo-idrologici che hanno prodotto danni alla popolazione nel periodo 1850-2011 mostra un andamento tendenzialmente crescente della ricorrenza degli eventi pur se si riconoscono evidenti oscillazioni, almeno in parte correlabili a variazioni climatiche pluriennali.

I risultati delle analisi svolte a scala nazionale trovano conferma con approfondimenti svolti a scala regionale, con nel caso di Calabria e Puglia, in cui sono stati determinati trend crescenti della ricorrenza di eventi dannosi di piene e inondazioni (Polemio 2010, Polemio e Petrucci 2010 e 2012, Polemio e Lonigro 2011). Tali analisi hanno posto in evidenza, in particolare, che non è tanto il fattore climatico a giustificare tali tendenze quanto il complesso delle modificazioni antropiche.

L'analisi da noi condotta indica quanto sia persistente e diffuso il rischio geo-idrologico per la popolazione in Italia. Gli eventi recenti che hanno colpito più aree del paese, provocando vittime e danni rilevanti, ne sono una conferma. È oramai evidente come sia divenuto indispensabile e urgente un programma nazionale di mitigazione del rischio geo-idrologico. Un programma efficace di mitigazione del rischio geo-idrologico deve essere di lungo periodo, e deve sviluppare un complesso di azioni e strategie che puntino a ridurre le perdite di vite umane ed economiche, e mirino ad aumentare la resilienza dei territori fragili, delle economie e della società agli eventi geo-idrologici.

Il successo di un programma nazionale di mitigazione del rischio geo-idrologico è legato a un altrettanto imprescindibile e urgente programma di ricerca nazionale sui rischi naturali. Servono risorse, soprattutto umane e strumentali, e serve maggiore cooperazione fra i molteplici attori interessati. In questo senso, il successo di un programma nazionale di mitigazione del rischio geo-idrologico può essere raggiunto solo attraverso la cooperazione delle migliori capacità individuali e collettive in tre differenti domini: del governo e della pubblica amministrazione, della ricerca, dell'industria e delle professioni. Da

ultimo, va detto che anche la società civile deve fare la propria parte. Da un lato chiedendo alla politica una maggior sicurezza territoriale. Dall'altro lato adeguando di conseguenza i comportamenti individuali in forza di una maggiore consapevolezza. Per questo, sono anche necessarie più efficaci azioni di formazione e informazione, di divulgazione e discussione scientifica, come nel caso del Convegno "Dissesto idrogeologico", nell'ambito degli Atti del quale trova ottimale collocazione questo contributo.

BIBLIOGRAFIA

- GUZZETTI F. (2000), *Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy*. Engineering Geology, 58: 89-107.
- GUZZETTI F., SALVATI P., STARK C.P. (2005a), *Evaluation of risk to the population posed by natural hazards in Italy*. In: O. Hungr, R. Fell, R. Couture, E. Eberhardt (eds.) *Landslide Risk Management*, Taylor & Francis Group, London: 381-389.
- GUZZETTI F., STARK C.P., SALVATI P., 2005b, *Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy*. Environmental Management, 36: 15-36.
- POLEMIO M. (2010), *Historical floods and a recent extreme rainfall event in the Murgia karstic environment (Southern Italy)*: Zeitschrift für Geomorphologie, 54, 195-219.
- POLEMIO M., LONIGRO, T. (2011), *Variabilità climatica e ricorrenza delle calamità idrogeologiche in Puglia*. In Polemio M., ed., *Le modificazioni climatiche e i rischi naturali*, Bari, CNR IRPI, 13-16.
- POLEMIO M., PETRUCCI, O. (2010), *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43, 403-415.
- POLEMIO M., PETRUCCI, O., (2012), *The occurrence of floods and the role of climate variations from 1880 in Calabria (Southern Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 129-142.
- SALVATI P., BIANCHI C., ROSSI M., GUZZETTI F., (2010), *Societal landslide and flood risk in Italy*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 465-483.
- SALVATI P., GUZZETTI F., REICHENBACH P., CARDINALI M., STARK C.P. (2003), *Map of landslides and floods with human consequences in Italy*. Pubblicazione CNR GNDCI n. 2822, scala 1:1.200.000.
- SALVATI P., MARCHESINI I., BALDUCCI V., BIANCHI C., GUZZETTI F. (in stampa), *A digital catalogue of landslides and floods with human consequences in Italy*. In: *Proceedings Second World Landslide Forum, Putting Science into Practice, Rome, 3-7 October 2011*.

Il Presidente Massimo Veltri, impossibilitato a partecipare, ha dato a me l'incarico di portare il saluto dell'Associazione Idrotecnica Italiana, cosa che faccio di buon animo, soprattutto perché mi trovo tra amici a trattare un problema di grande interesse ed attualità. L'Associazione Idrotecnica, forte dei suoi quasi novant'anni di vita, ha sempre considerato con grande attenzione la difesa del suolo e le vicende legate alle frequenti inondazioni che caratterizzano il nostro Paese. Anche nei decenni passati, numerosi sono stati i motivi di incontro fra esperti del settore, promossi tanto a livello centrale, quanto presso le sezioni regionali, con l'intento di esaminare l'evolversi di fenomeni non sempre prevedibili e di cercare soluzioni fattibili affinché gli stessi fenomeni non abbiano a ripetersi o, comunque, non portino ancora gravi danni al territorio, rispettando soprattutto la vita delle popolazioni interessate.

Negli ultimi anni le inondazioni appaiono più frequenti, accompagnate da massicci movimenti franosi, in tutto il territorio nazionale. Il loro ripetersi viene legato a numerose cause, naturali ed antropiche, in un quadro generale che tiene conto di mutate condizioni climatiche ma anche delle esigenze di una popolazione sempre più crescente non solo di numero, ma anche in fatto di esigenze per una vita migliore.

Il programma di questa giornata è alquanto impegnativo e ricopre molti aspetti della problematica. Verranno trattati parecchi casi specifici, per i quali è stato possibile reperire elementi conoscitivi, mettendo in evidenza gli effetti più vistosi e cercando di interpretarne i meccanismi.

I fenomeni esaminati riguardano in maggior parte zone interne, per le quali le conoscenze acquisite in diversi anni di osservazioni e ricerche avevano già caratterizzato uno stato di allarme. Sono considerate anche zone litoranee, a testimoniare come le coste italiane siano ora oggetto di pericolo e richiedano particolari interventi.

La manifestazione odierna non vuole essere una ripetizione, sia pure aggiornata, di una tipologia di incontri alquanto frequenti non solo in Italia, ma auspichiamo che diventi l'occasione per uno scambio di vedute tra



esperti, contribuendo soprattutto a puntualizzare quegli aspetti fondamentali troppo spesso interpretati senza una reale conoscenza della materia. Su questi aspetti – come noto – si cimentano soprattutto i mezzi di informazione, con effetti assai spesso fuorvianti sulla pubblica opinione. È necessario che questi problemi vengano affrontati con il dovuto rigore scientifico, cosa che i parteci-

panti a questo incontro sapranno certamente attuare. Sono certo che avremo in futuro molte occasioni di rivederci, per un ulteriore approfondimento e per cercare di portare il frutto del nostro lavoro a conoscenza di coloro che devono intervenire responsabilmente per realizzare i necessari interventi.

È con questi sentimenti che io auguro a tutti un buon lavoro.

PRIMA SESSIONE

**LO STATO DELLE COMPETENZE
IN MATERIA DI DIFESA DEL SUOLO
ALLA LUCE DELL'ATTUALE NORMATIVA:
ATTIVITÀ, PROGETTI, PROBLEMATICHE**

Dal 1988 è in corso di realizzazione la nuova carta geologica in scala 1:50.000 che sostituisca quella storica redatta su una scala di dettaglio molto minore. In ventuno anni sono disponibili soltanto 44 fogli di mappa, neppure il 7% del totale. E' forse interessante ricordare che lo storico ufficio geologico istituito presso il ministero dei Lavori pubblici (oggi Infrastrutture) è stato in questi ultimi anni pressochè smantellato e che il progetto della redazione della nuova cartografia è di competenza dell'Ispra, autorevole istituto di ricerca pubblico interessato nell'estate 2009 da una proposta governativa che lo avrebbe portato verso la chiusura.

Di prevenzione e di programmazione ce ne sarebbe invece bisogno come l'aria, viste le caratteristiche del territorio e visto che gli eventi tragici sono ormai all'ordine del giorno. Ripercorriamo i casi di maggior gravità limitandoci a riportare quelli avvenuti dal 1988, anno in cui inizia la costruzione della carta geologica.

Nell'*Inventario dei fenomeni franosi in Italia (Ifri)*, l'Ispra afferma che dal 1996 ad oggi i movimenti franosi ufficialmente registrati sono stati 485.000 ed hanno interessato quasi 21.000 chilometri quadrati di territorio, il 7% dell'intero territorio nazionale. Aggiunge però che il numero è sicuramente sottostimato ed avanza l'ipotesi attendibile che siano nell'ordine di 2 milioni ed hanno interessato il 20% della superficie del paese. Se anche rimaniamo al dato ufficiale si tratta di circa 37.000 mila frane all'anno. E' del resto noto che il territorio italiano presenta una grande fragilità idrogeologica, caratteristica che avrebbe dovuto aumentare la cautele, la conoscenza sistematica, l'uso ordinario di una buona pianificazione.

Nel novembre 1994 esonda il Tanaro ad Asti ed altri comuni provocando 70 morti e migliaia di senzatetto. Nel marzo dell'anno successivo tocca Giarre e Riposto, l'inondazione provoca 3 vittime. Nel giugno 1996 rompe gli argini il fiume Versilia, 13 vittime e oltre mille senza tetto. Il 14 ottobre 1996 forti piogge provocano l'esondazione dell'Esaro a Crotone, si contano 6 vittime, Abitazioni abusive erano state costruite nelle aree di deflus-

so fluviale. Nel maggio 1998 c'è l'alluvione di Sarno, di cui parleremo dopo. Il 9 settembre 2000 un nubifragio provoca l'esondazione del fiume Beltrame che a Noverato travolge un intero campeggio realizzato al bordo di quella fiumara: 13 vittime. A monte del campeggio c'erano due discariche abusive.

Dal 13 al 16 ottobre dello stesso anno una nuova alluvione in Piemonte che coinvolge anche Lombardia Liguria e Valle d'Aosta, 40 mila senza tetto e circa 30 morti. Nel 2003 tocca di nuovo alla zona di Carrara, 2 morti. Nel 2005 una frana fa letteralmente sparire la frazione di Cavallerizzo, 320 abitanti, vicino a Cosenza.

Il 3 luglio 2006 a Vibo Valentia le case abusive costruite a bordo della fiumara impediscono il deflusso delle acque verso il mare: 4 vittime. Il 9 maggio 2008 un'alluvione colpisce la val Pellice, provocando 4 morti. Il 22 novembre 2008 il rio San Girolamo tracima nel territorio di Capoterra, in Sardegna: si contano cinque morti. Degli eventi dello stretto di Messina del 2009 parleremo subito dopo. Infine, il 16 febbraio 2010 una frana di dimensioni gigantesche spazza via l'abitato di Maierato in Calabria. Non ci sono vittime, ma i 2.300 abitanti sono costretti a sgomberare l'intero paese.

Nel pieno di una profonda crisi economica, Veniamo raramente informati dell'ordine di grandezza delle risorse economiche necessarie per mettere in sicurezza il territorio. Le stime del ministero dell'Ambiente parlano di 44 miliardi di euro in un decennio. Sembra una cifra enorme, ma se le paragoniamo con altre poste di bilancio ci accorgiamo che sono poca cosa. Le somme che vengono impiegate ogni anno per gli interventi di emergenza sono ad esempio sono comprese nell'ordine di 2 - 3,5 miliardi di euro: già queste coprirebbero la metà del fabbisogno annuale.

Il quadro descritto attiene ad eventi che colpiscono tutti i paesi del mondo, in particolare in un periodo come l'attuale caratterizzato dall'insorgere di eventi naturali estremi. La estrema gravità della situazione italiana sta nel fatto che si aggiungono due ulteriori patologie: l'abusivismo dilagante e la cancellazione di qualsiasi regola di governo del territorio.

Il primo ottobre 2009 una frana di dimensioni gigantesche travolge le frazioni di Giampilieri, Altolia, Briga superiore e Scaletta Zanclea. Le vittime sono 36, molte parti delle frazioni sono spazzate via, la viabilità cancellata. Le attività economiche distrutte. 1.600 gli sfollati. Le frazioni interessate della frana distano 34 chilometri dal pilone del ponte sullo Stretto, ma lì sono previsti due svincoli per collegare l'uscita prevista di Santo Stefano: l'area di Giampilieri è parte integrante del progetto del ponte.

Inizialmente, per attenuare l'impatto della tragedia, viene affermato che l'abusivismo non c'entra, si trattava soltanto di edifici antichi. Dopo il lutto inizia ad emergere la verità e si scoprono tre verità. Lungo la linea della frana almeno due edifici erano in quei giorni sotto sequestro per abusivismo. In altri edifici appena al di sopra dello smottamento, erano in atto cantieri di sopraelevazione. E infine salta fuori che nel 2007 la polizia municipale di Messina aveva emesso circa 1.200 ordinanze di demolizione di edifici abusivi: 200 erano localizzati a Giampilieri.

E' l'abusivismo a rappresentare la causa dello scatenamento degli eventi naturali. Si costruisce su terreni inadatti a resistere al peso degli edifici. Si impermeabilizzano luoghi che rappresentavano le vie di naturale deflusso delle acque. Si abbandona la manutenzione della rete capillare di fossi di raccolta delle acque piovane. Si diminuisce il numero degli alberi.

Anche edifici sorti in luoghi pericolosi, non vengono mai demoliti. Ci si ferma alla fase dell'emissione dell'ordinanza. Dopo ci sarebbero da chiamare le imprese per eseguire i provvedimenti di demolizione, Ma alle gare per affidare tali opere non risponde nessuna impresa: vanno deserte e non si può procedere. La legge della regione Sicilia, al pari di quella nazionale, prevede che in alternativa alla demolizione si possano acquisire gli immobili destinati alla demolizione.

L'ultima frana che ha travolto Ischia avviene il 10 novembre 2009. Un costone della ripida montagna sovrastante Casamicciola non regge più. Smotta e travolge l'abitato arrivando fino al porto. I terrazzi coltivati a frutteti e orti non ci sono più. Sono stati ab-



bandonati per coltivare case da mettere nel circuito delle vacanze.

Non si poteva costruire in quella parte di territorio. Come in altre parti dell'isola il piano paesistico vincolava quelle aree all'uso agricolo. Sono anni che è in corso la pressione per cancellare i vincoli. Abusivi, sondaci e interi consigli comunali chiedono che i terreni vengano destinati all'edificazione.

Il vincolo rimase e prese il via un diluvio di case abusive che hanno sfregiato per sempre quel paesaggio meraviglioso. Nessuno vede, sindaci, consiglieri comunali, vigili urbani. Eppure l'isola è piccola e si tiene sotto controllo facilmente. La procura della Repubblica di Napoli ha emesso ordinanze di demolizione per almeno 600 edifici abusivi. La frana del 2009 è partita proprio da una zona interessata dall'abusivismo e nello smottamento muore una giovane ragazza.

Del resto, non bisogna tornare troppo indietro nel tempo per incontrare la frana di Sarno. Il 5 maggio 1998 dalla montagna che sovrasta quel comune si staccano due milioni di metri cubi di terreno reso incoerente dalle forti piogge di quei giorni. La frana si muove con una velocità impressionante, 10 metri al secondo, distrugge 180 abitazioni e ne danneggia oltre 450. Si contano 160 vittime e migliaia di senza tetto.

È vero che le piogge erano state violente, ma come è potuta avvenire una catastrofe di tali dimensioni? La causa è sempre quella: l'abusivismo edilizio. La seconda causa è l'abbandono delle colture storiche: le pendici del monte erano un tempo coperte di alberi da alto fusto, poi i castagni e le querce erano stati progressivamente sostituiti dal nocciolo. La raccolta delle nocciole avviene con mezzi meccanici e si evita la crescita del sottobosco naturale perché non permetterebbe un'opera di raccolto veloce e meccanizzata. Nella coltura del nocciolo vengono conseguentemente impiegate elevate dosi di diserbante, in modo da lasciare libero il terreno sottostante. Le montagne di Sarno erano state letteralmente spogliate, anche se la struttura incoerente di quelle montagne era conosciuta da sempre. Tanto che durante il dominio dei Borbone nella prima fascia sottostante la montagna erano state realizzate vasche di raccolta delle acque piovane e dei detriti da dilavamento. Quel sistema era stato nel tempo abbandonato.

Le amministrazioni comunali sono ormai controllate dai partiti del cemento. La spinta a edificare è senza limiti e non deve trovare ostacoli. Il blocco dell'edificazione provoca le proteste dei consorzi che affermano di vantare diritti edificatori acquisiti. Possono costruire quando e come vorranno perché se anche

un piano urbanistico è stato redatto in modo truffaldino non si può tornare indietro. Forti di queste aberranti teorie i proprietari dei terreni ricorrono alla giustizia amministrativa. E la macchina del cemento si rimette in moto.

E si arriva alla seconda delle caratteristiche peculiari dell'Italia rispetto agli altri paesi dell'Europa. Dalla metà degli anni '90 del secolo scorso fino ad oggi, pezzo dopo pezzo, con un disegno tanto lucido quanto irresponsabile, le regole urbanistiche e quelle paesaggistiche che nei decenni precedenti avevano — pur con tutti i limiti della cultura pianificatoria italiana — tentato di dare regole certe allo sviluppo del territorio sono state cancellate. L'urbanistica non esiste più e attraverso l'uso sempre più sistematico dell'accordo di programma si riesce a costruire dappertutto, anche in zone soggette a vincoli geologici o a rischio di esondazione.

Sembra che non esistano più argini all'arbitrio e ciascuno pretende di poter costruire dovunque, a prescindere da ragionamenti più generali sulla sicurezza del territorio e sulla razionalità degli insediamenti. E' questa, insieme all'abusivismo, la patologia più grave che dovremo affrontare per poter consentire al sistema paese una coerente ripresa dello sviluppo. Ricostruire regole condivise per poter pensare ad un futuro migliore.

Dal Piano di assetto idrogeologico al Piano di gestione del rischio di alluvioni ai sensi della direttiva 2007/60/CE

CARLO FERRANTI
Autorità di bacino del Tevere

VALENTINA VITALE
Autorità di bacino del Tevere

PREMESSA

Il Piano di bacino fu inteso dalla legge 183/89 come il principale strumento dell'azione di pianificazione e programmazione del bacino idrografico dell'Autorità di bacino.

È infatti lo strumento di pianificazione e programmazione delle azioni e delle norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato" (legge 183/89 art. 17, comma 1).

Il Piano di bacino, secondo le intenzioni del legislatore, doveva governare il ciclo dell'acqua con riguardo principale a:

- difesa dalle piene
- difesa dai dissesti
- salvaguardia delle acque dall'inquinamento
- ottimale gestione della risorsa

I contenuti specifici e gli obiettivi dei piani sono definiti dalla legge 183/89, che rendono conto della molteplicità e della complessità delle materie da trattare e della portata innovativa del piano.

La prima innovazione legislativa circa i contenuti del Piano di bacino si ha con il D.Lgs 152 del 1999, in base al quale la programmazione circa la salvaguardia delle acque fu affidata, con la redazione dei Piani di Tutela delle Acque, alle regioni.

I Piani di assetto idrogeologico, detti anche P.A.I., discendono direttamente dalla legge 183/89, come modificata dalla legge 493/93, quali Stralci del Piano di Bacino.

I Piani stralcio per il governo dell'assetto idrogeologico (Fig. 1) furono introdotti come specifici argomenti dal Decreto Sarno (D.Lgs.180/98) che impose per il 30 giugno '99 la redazione di particolari Piani straordinari che dovevano contenere l'individuazione e la perimetrazione delle aree a maggior rischio idrogeologico. Detti Piani Straordinari rimanevano in vigore fino all'approvazione dei successivi Piani di Assetto.

La risposta positiva delle Autorità di bacino (Fig. 2) sul tema della salvaguardia idrogeologica è senza dubbio positiva; infatti già nel 2003 tutte le Autorità di bacino nazionali

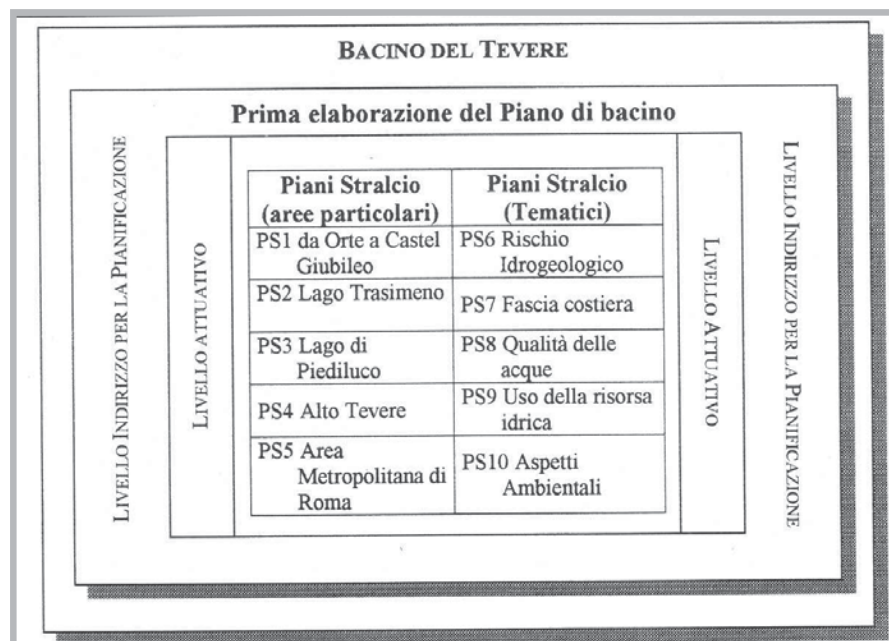


Figura 1 – I caratteri della prima elaborazione del progetto di piano di bacino.

hanno redatto i progetti per i PAI, delineando i limiti delle aree pericolose e ponendo norme di utilizzo delle stesse con indicazione delle opere necessarie alla messa in sicurezza.

I Piani di assetto idrogeologico hanno avuto poi un lungo iter di approvazione per il tramite delle Conferenze programmatiche

convocate dalle Regioni (introdotta dalla Legge 267 del '98 con il compito di raccogliere le osservazioni dei privati e degli Enti e di elaborare un conseguente parere).

I PAI, estendendo quanto fatto con lo strumento emergenziale del Piano Straordinario PST, si configurano quindi come uno strumento di pianificazione specialistica che ha la capacità di incidere profondamente ai fini della tutela del territorio, costituendo un chiaro punto di riferimento anche al fine di indirizzare i soggetti preposti al governo del territorio verso scelte di programmazione coerenti con le reali possibilità di trasformazione del territorio stesso.

I dati di sintesi rilevati dal Ministero Ambiente mostrano che la superficie del territorio italiano a "potenziale rischio idrogeologico più elevato R4" è pari a oltre 22.000 kmq, di cui 14.000 per frane, e 8000 kmq per alluvioni. Si tratta di circa il 10 % della superficie della nazione con circa il 70 % dei comuni italiani.

Le risorse individuate come necessarie per la messa in sicurezza delle aree a più alto rischio - le risorse individuate per la messa in sicurezza delle aree a più alto rischio erano stimate in 10 - 11 miliardi di € mentre per determinare assetti generali compatibili



Figura 2 – Le autorità di bacino di rilievo nazionale.

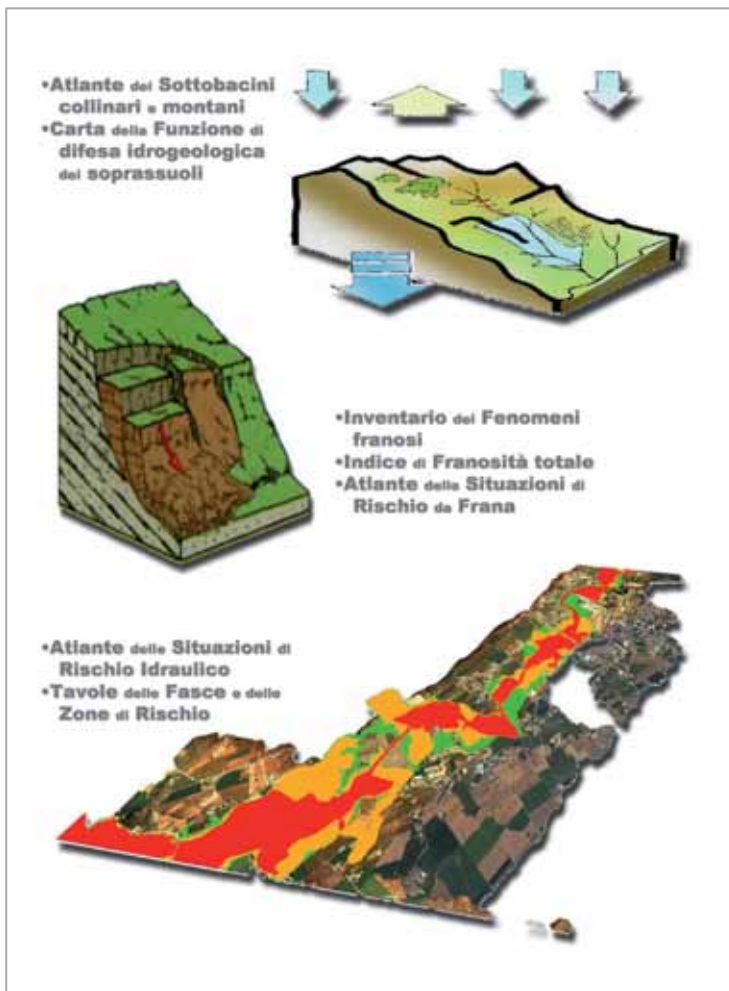


Figura 3 – Le linee di attività del PAI.

occorrerebbero sui PAI (stima Ministero Ambiente) circa 40 miliardi di €.

Il dato relativo al bacino del Tevere (6% del territorio nazionale) indica un fabbisogno di circa 1,7 miliardi di Euro.

I danni in Italia negli ultimi 20 anni variano tra 60 e 100 miliardi di € (stima fonti ISPRA e IRSA).

IL PAI DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL TEVERE

Con DPCM del novembre 2006 (G.U. 33 del 9.2.2007), è stato approvato il Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.), predisposto dall'ABT.

Il PAI è lo strumento di pianificazione territoriale attraverso il quale ABT si propone di determinare un assetto territoriale che, salvaguardando le attese di sviluppo economico, assicuri condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e la crescente antropizzazione del territorio ed ottenere la messa in sicurezza dell'esistente - popolazioni, insediamenti, infrastrutture - e lo sviluppo compatibile delle future attività insediative ed infrastrutturali.

Il PAI persegue il miglioramento dell'assetto idrogeologico del bacino attraverso interventi strutturali a carattere preventivo e per la riduzione del rischio e disposizioni normative per la corretta gestione del territorio,

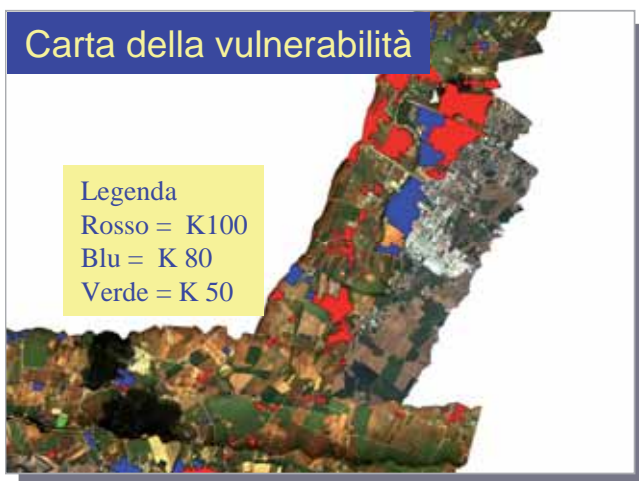


Figura 4 – Carta del rischio, dati di input e risultati.

la prevenzione di nuove situazioni di rischio, l'applicazione di misure di salvaguardia in casi di rischio accertato.

Il PAI si articola in "assetto geomorfologico" e in "assetto idraulico" ed è strutturato secondo tre linee di attività (Fig. 3):

- Efficienza dei bacini montani in termini di difesa idrogeologica;
- Rischio geologico (Dissesti di versante e movimenti gravitativi; Assetto geomorfologico);

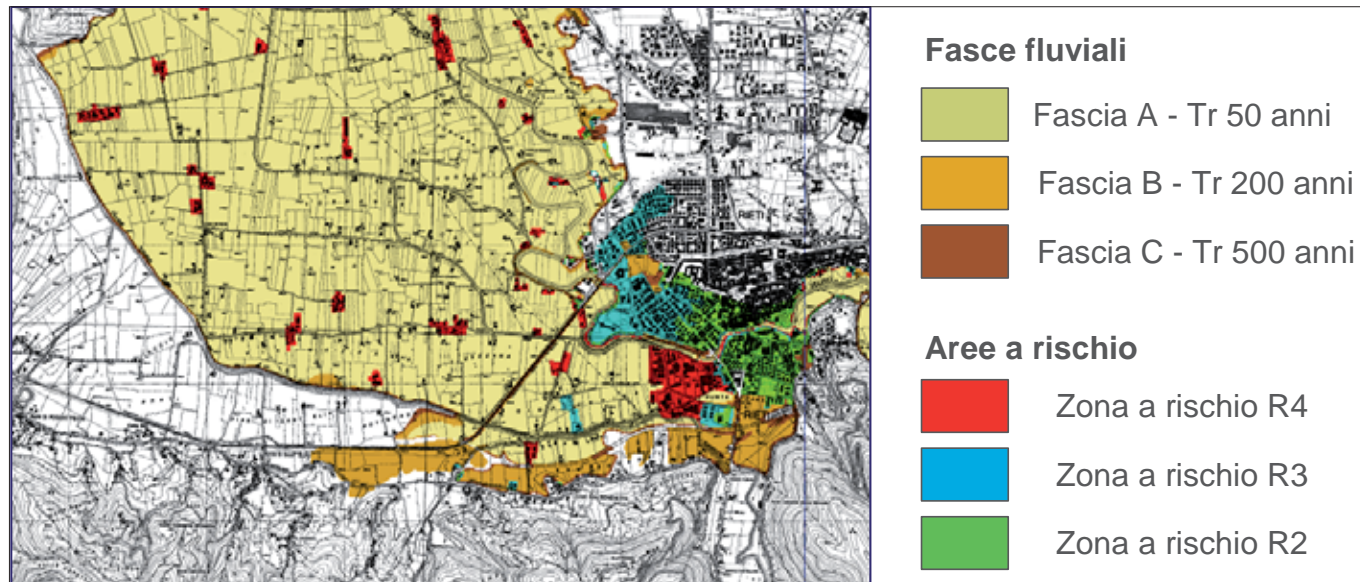
A queste porzioni del territorio è stato sovrapposto l'uso del suolo e le previsioni della pianificazione urbanistica comunale articolate secondo la tipologia dei beni esposti.

L'utilizzo del sistema GIS ha restituito, secondo procedure automatizzate, i valori di R compresi tra R1 ed R4.

Un esempio di tavola delle fasce fluviali e della zona di rischio per reticolo principale a Rieti.

laminazione, nei riguardi degli eventi idrologici eccezionali, deve essere salvaguardata al fine di non aggravare le condizioni di deflusso della piena nel reticolo principale.

Il reticolo minore è costituito dal sistema della rete idrografica e dei versanti che condiziona il deflusso delle piene di riferimento locale e al cui interno le residue aree alluvionali e la struttura dell'uso del suolo costituiscono un importante fattore di transitorio di invaso,



- Rischio idraulico (Aree inondabili delle piane alluvionali; Assetto idraulico); I documenti principali individuati dal Piano sono:

- l'Atlante delle situazioni di rischio di frana; (R4-R3-R2)
- l'Atlante delle situazioni di rischio idraulico ; (R4-R3-R2) (reticolo principale e secondario)
- Fasce fluviali e le zone di rischio del reticolo principale.

La definizione di rischio assunta dal PAI è: $Rischio = f((\text{frequenza, pericolosità}) * f(\text{Vulnerabilità dei beni}) * f(\text{Valore beni}))$.

L'analisi del rischio su tutto il territorio deriva dall'utilizzo della relazione di Varnes ($R = P \times V \times K$) interpretata sulla base del quadro conoscitivo complesso ed articolato disponibile presso l'ABT.

I fattori contenuti nella relazione sono parametrizzabili e possono assumere proporzioni differenti producendo contemporaneamente il medesimo risultato di livello di rischio elevato.

Qui di seguito sono riportati i risultati degli studi condotti (Fig. 4).

Le banche dati territoriali e idrologici disponibili per il reticolo principale hanno consentito una lettura del territorio per livelli informativi sovrapposti. Sulla base delle ortofoto digitali sono state riportate le aree di esondazione secondo i tre tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Nelle aree R4, R3 e R2 e nelle fasce A, B e C devono essere rispettate le disposizioni previste dalle N.T.A del Piano. Tali aree subiscono limitazione alle possibili trasformazioni urbanistiche - già individuate dai Comuni - onde non aumentare i carichi antropici e conseguentemente il livello di rischio.

Il PAI detta anche gli standard per condurre ulteriori studi e detta le condizioni per ottenere una riduzione di classificazione del livello di rischio.

METODOLOGIA DI SVILUPPO SEGUITA NEL PAI DELL'ABT: ASSETTO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO

Nel settore idraulico l'ABT ha studiato il reticolo principale con modelli di propagazione della piena e con modelli DEM del terreno, nonché l'assetto complessivo che ne deriva dalla connessione tra reticolo secondario e minore. Il Piano disegna un reticolo di riferimento ed assegna le funzioni.

Il Reticolo principale è costituito dalle aste dei corsi d'acqua con la principale capacità di deflusso e laminazione dei volumi di piena; tale capacità di laminazione è soggetta direttamente agli effetti indotti dalle modifiche dei bacini drenanti e dalle utilizzazioni del territorio delle aree alluvionali limitrofe.

Il reticolo secondario comprende le aste affluenti nel reticolo primario che drenano i bacini montani e le aree alluvionali immediatamente contermini; la relativa capacità di

il cui controllo contribuisce a non aggravare le condizioni di deflusso della piena nel reticolo immediatamente sottostante.

La restante parte del reticolo del bacino è definito marginale, in quanto, allo stato attuale delle conoscenze, non influenza sostanzialmente l'assetto idraulico individuato dal PAI.

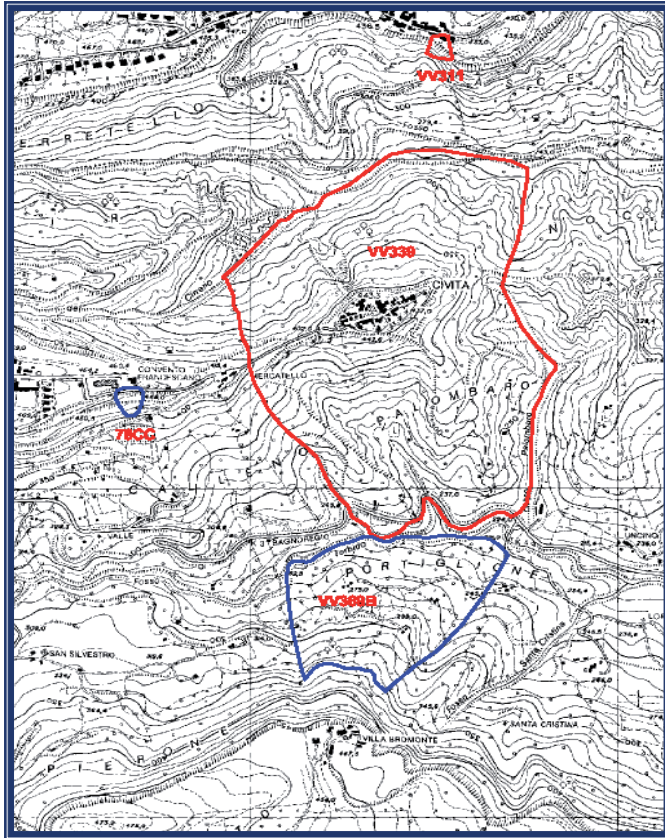
La rilevanza essenzialmente regionale del reticolo diverso dal principale ha portato ad individuare le Regioni come i soggetti adatti a svolgere gli studi ulteriori, sulla base di metodologie standard individuate dall'Autorità di bacino.

L'assetto geomorfologico viene indicato attraverso l'Inventario dei fenomeni franosi, la Carta indice della franosità totale e l'Atlante delle situazioni di rischio da frana.

INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI

Contiene la perimetrazione dei corpi di frana con interpretazione fotogeologica condotta su tutto il bacino. I dissesti rilevati sono classificati secondo la legenda di cui all'atto di indirizzo e coordinamento emanato con DPCM del 1998.

L'inventario evidenzia circa 60.000 poligoni riferibili a frane attive, quiescenti e inattive, costituisce un livello di attenzione e le norme tecniche del PAI richiedono che i Comuni recepiscano tale elaborato al fine di verificare, sulla base di studi di dettaglio, la compatibilità delle eventuali previsioni urbanistiche.



Comune di Bagnoregio (VT), località Civita, Portiglione e Convento Francese

C.T.R.: 334140

R4

R3

Scala 1:10.000

Fig. 5 – Striscio atlante delle situazioni di rischio da frana.

Le norme del PAI adottano misure prescrittive ed interventi volti alla mitigazione del rischio nelle aree individuate R3 ed R4.

LA NECESSITÀ DI AGGIORNAMENTO DEL PIANO

Per dare costante forza al piano è necessario l'aggiornamento. Un piano senza aggiornamento decade velocemente.

Solo un Piano aggiornato può costituire un riferimento delle politiche di difesa del suolo che oggi, più che mai, sono affidate alle Regioni e alle loro scelte. I finanziamenti a livello nazionale sulla pianificazione di bacino si sono avuti solo (legge 183/89 art.41) fino al 2003. Successivamente i fondi sulla difesa suolo non sono stati più programmati direttamente dalle ABT.

Le risorse disponibili non transitando più direttamente nella programmazione di bacino devono trovare un forte naturale riferimento nel contenuto tecnico aggiornato dei piani di assetto.

Il Piano deve seguire l'evoluzione della realizzazione delle opere di messa in sicurezza e l'approfondimento o l'avanzamento degli

CARTA INDICE DELLA FRANOSITÀ TOTALE

Indica la valutazione areale della pericolosità da frana sull'intero bacino, può essere derivata a partire dall'Inventario dei fenomeni franosi, utilizzando tecniche di spazializzazione note in letteratura basate su carte di densità, modelli di pericolosità statistici, modelli deterministici ecc.

Al fine di caratterizzare la propensione al dissesto si utilizza un Indice di Franosità Totale (IFT), calcolato come rapporto tra la l'area in dissesto e l'area dell'unità territoriale di riferimento.

Per la definizione di quest'ultima ci si è basati sulla suddivisione del bacino in 181 sottobacini e su una Cartalitologica 1:25.000 elaborata per l'Autorità di bacino dall'Università degli studi di Roma III, sulla base degli originali di autore (tavole 1:25.000) della Carta Geologica d'Italia. L'unità territoriale di riferimento dell'IFT è costituita dall'affioramento litologico per ciascun sottobacino. Le norme del PAI prevedono che tale elaborato sia di riferimento in fase di riordino del vincolo idrogeologico.

ATLANTE DELLE SITUAZIONI DI RISCHIO DA FRANA

Sulla base dell'inventario dei fenomeni franosi e di sopralluoghi e verifiche effettuate da tecnici, sono state perimetrate le situazioni di rischio per frana. Il totale delle situazioni di maggior rischio (R3 – R4) perimetrate è di circa 350 (Fig. 5).

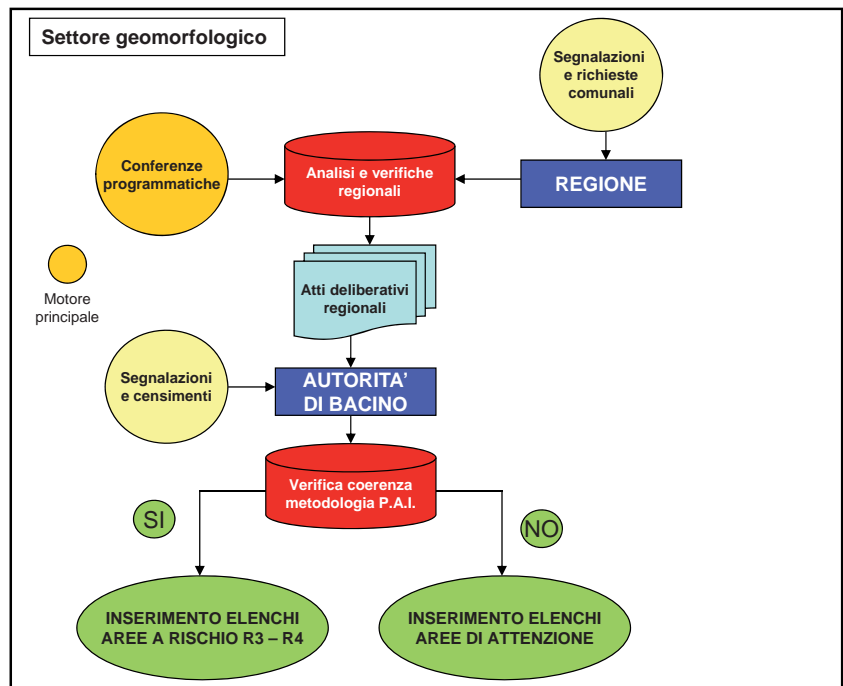
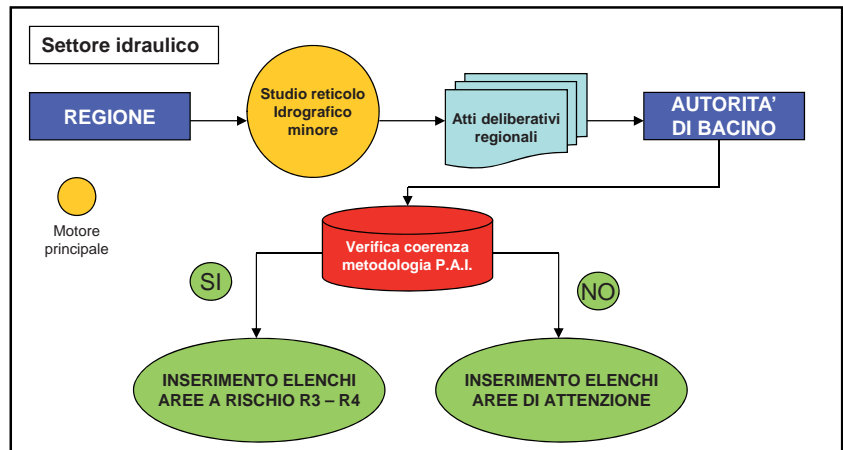


Figura 6 – Procedura per l'aggiornamento del piano.

studi. Per tutto questo il PAI prevede in sé il meccanismo del suo aggiornamento.

Per il bacino del fiume Tevere si è giunti già al 1° aggiornamento approvato come progetto nel dicembre 2010 dal Comitato Istituzionale e ora in fase di osservazione. La fase delle osservazioni è un appesantimento dell'iter di approvazione dell'aggiornamento, ma necessaria quando si proceda vincolando nuove aree e quindi limitando i diritti dei terzi che devono poter osservare.

Nella figura 6 è rappresentato lo schema del procedimento per determinare gli aggiornamenti del Piano sia nel settore idraulico che in quello geomorfologico.

Nel settore idraulico l'ABT ha studiato il reticolo principale con modelli di propagazione della piena e con modelli DEM nonché l'assetto complessivo che ne veniva dalla connessione tra reticolo secondario e minore.

Nel settore dell'assetto dei versanti è stato invece individuato un meccanismo di aggiornamento legato alle segnalazioni successive alla redazione del progetto Pai.

IL TRAVAGLIO DELLE COMPETENZE

Il d.lgs 152/06 "Norme in materia ambientale", in ossequio alla Direttiva 2000/60/CE, introduce nell'ordinamento nazionale il concetto di Distretto idrografico (art. 3, comma 1 della Direttiva) quale nuova realtà territoriale oggetto della pianificazione di gestione della risorsa idrica e della pianificazione dell'assetto idrogeologico.

Il d.lgs 152/06 prevede all'art. 64, comma 1, la ripartizione dell'intero territorio nazionale in 8 distretti idrografici, tra i quali quello dell'Appennino Centrale, comprendente più bacini idrografici.

Il distretto idrografico è definito come "area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere che costituisce la principale unità per la gestione dei bacini idrografici".

Il Distretto idrografico quale unità di gestione somma di più bacini perde quindi la forte caratterizzazione fisica come ambito idrografico unitario.

Il successivo D.Lgs n. 49/10 - "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni" - ha disciplinato, sempre a livello distrettuale, la pianificazione di gestione del rischio di alluvione, prevedendo misure di coordinamento con la disciplina del d. lgs. 152/06.

La pianificazione concernente i distretti è coordinata, nelle more della costituzione della Autorità di bacino distrettuale, dall'Autorità di bacino di rilievo nazionale in forza del di-

sposto di cui all'art. 4 del d. lgs. 10 dicembre 2010, n. 219 - di concerto con le Regioni - ed è attualmente articolata come segue:

- Piano di Gestione della risorsa idrica (entro il 2009)
- Piano di Gestione del rischio di alluvione (entro il 2015)

L'unità di riferimento della pianificazione quindi non più il bacino, ma il Distretto (FIG 8).

Il territorio della costituenda Autorità di Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, di cui l'Autorità di bacino del Tevere fa parte, si estende su una superficie di 35.800 km, comprendente i seguenti bacini idrografici:

1. Tevere - già bacino nazionale;
2. Tronto - già bacino interregionale;
3. Sangro - già bacino interregionale;
4. Bacini dell'Abruzzo - già bacini regionali;
5. Bacini del Lazio - già bacini regionali;
6. Potenza, Chienti, Tenna, ecc., Aso, Menocchia, Tesino e bacini minori delle Marche - già bacini regionali.

COSA È NECESSARIO FARE, AI FINI DELLA PIANIFICAZIONE DEL RISCHIO, PER PASSARE DAL BACINO AL DISTRETTO.

Per passare dal bacino al distretto nel settore del rischio idraulico è necessario:

SALVAGUARDARE IL LAVORO FATTO (20 ANNI DALLA LEGGE 183 IN POI).

Occorre che la pianificazione di bacino già redatta confluisca nel modo più diretto possibile nella pianificazione di Distretto, l'Italia ha anticipato le previsioni della CE in questa materia. In questo settore infatti si era ormai già raggiunto un buon livello di pianificazione, seppure con qualche problema di effettivo avvio delle azioni. Esiste ora il rischio di dover ricominciare, per non aver saputo contrastare a livello strategico le logiche delle Direttive che impongono in modo generalizzato ed indistinto metodologie ed attività da svolgere.

Gli obiettivi indicati dalle Direttive dovevano trovare sviluppi diversificati in ragione dei diversi contesti (vedere ad esempio il fiume Danubio ed una fiumara calabrese...).

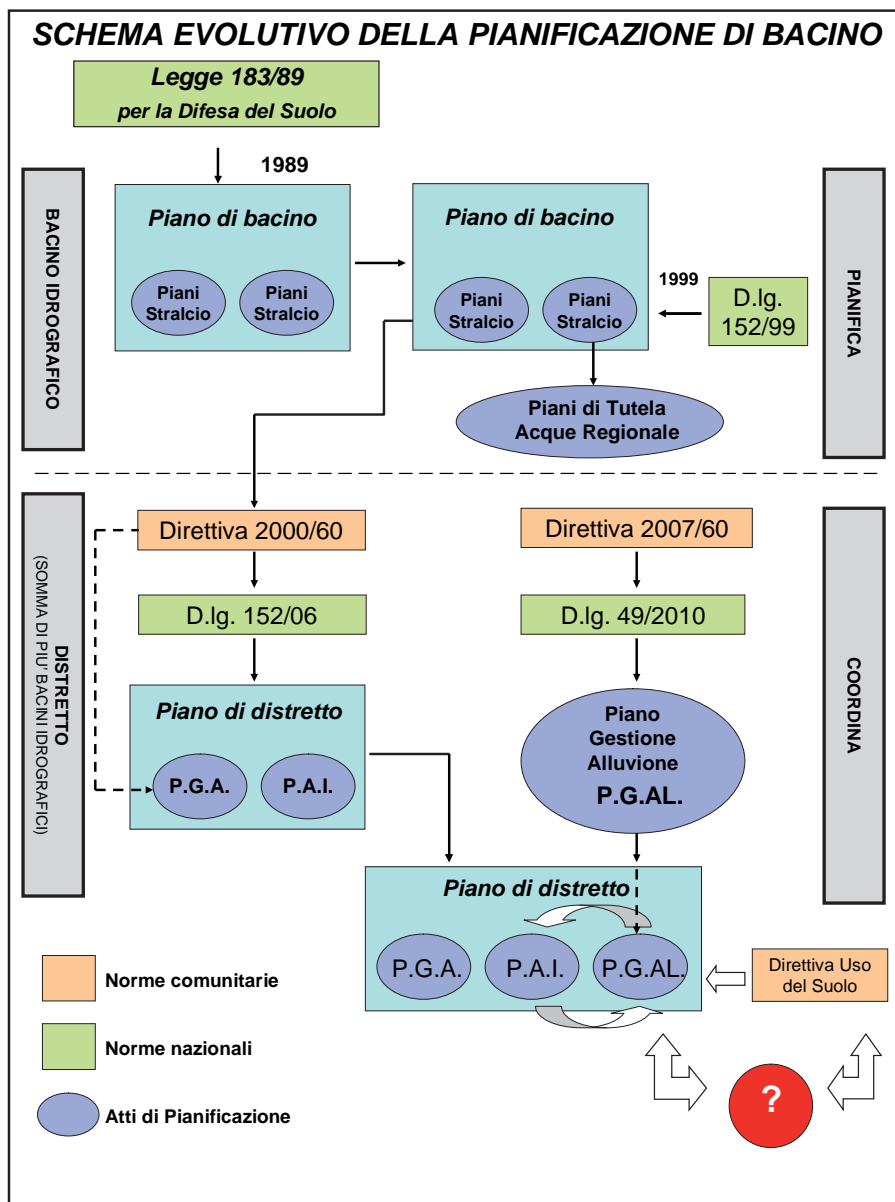


Figura 7 - Evoluzione della pianificazione di bacino



Figura 8 – Il piano di gestione del distretto dell'Appennino Centrale.

ATTIVARE QUANTO NECESSARIO PER ADEGUARE GLI STUDI ALLE CONDIZIONI DETTATE DAL DL.49.

Occorre l'adeguamento degli studi per raggiungere le condizioni imposte dalla Direttiva, in termini di conoscenza di parametri idraulici, di beni e persone esposte. Occorre procedere con l'ampliamento del reticolo di riferimento.

La definizione dei tratti su cui dove estendere lo studio del reticolo idrografico è la questione fondamentale. E' impensabile studiare con metodi analitici ed impegnativi tutto il reticolo.

Occorre ricercare un ottimale equilibrio tra sviluppo della conoscenza e consapevole grado di responsabilità da parte di chi dovrà approvare gli atti. Questo è necessario per assumere responsabili determinazioni per il quadro del rischio da alluvione sul tutto il Distretto.

Stime già condotte dalle Autorità di bacino indicano come necessari oltre 100 milioni di euro per studi su tutto il territorio naziona-

le per adeguamenti ed ampliamenti fino alla redazione del Piano di gestione del rischio di alluvione nel 2015.

ADEGUARE COMPORAMENTI ALL'INTERNO DEI DISTRETTI E TRA I DISTRETTI.

La realtà italiana fisica e amministrativa è diversa da quella del resto dell'Europa, i soggetti competenti sono molteplici e non riferibili a poche figure come deputate alla pianificazione.

In riferimento al passato vi sono differenze tra le varie Autorità (nazionali o regionali):

- per lo sviluppo di metodologie degli studi sul rischio;
- per le norme d'uso applicate alle zone di rischio.

Le differenze potevano essere sostenute dalle differenze fisiche dell'ambito di riferimento (il bacino idrografico).

Con l'avvento del Distretto come unità di riferimento di gestione è necessario trovare, all'interno del singolo distretto, fattori comuni di omogeneizzazione per studi e norme anche di contesti territoriali differenti (troviamo ad esempio i bacini dell'adriatico confluenti al mare differenti per la loro configurazione "a pettine" dagli altri del distretto dell'Appennino Centrale).

Tale esigenza di omogeneizzazione obbligherà in parte a riadattare studi già svolti con riferimento unico al Distretto.

Può sembrare a prima vista un bene... ma in pratica questo obbligherà a rivedere anche i punti di equilibrio sulla pianificazione del rischio faticosamente raggiunto in questi ultimi 20 anni nell'ambito dei singoli bacini idrografici che, come unità fisiche, potevano INVECE sostenere alcune disomogeneità.

SECONDA SESSIONE

**LE CAUSE DEL DISSESTO
IDROGEOLOGICO IN ITALIA
*CASI DI STUDIO***

The December 2009 and October 2010 Meteorological Events in Northern Tuscany (Italy)

GIACOMO D'AMATO AVANZI, YURI GALANTI,
ROBERTO GIANNECCHINI

Characteristics and Effects on Slope Stability

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa
e-mail: galanti@dst.unipi.it

1. INTRODUCTION

Changing climate is often used to explain the proliferation and escalation of extreme events. In many cases, the climate changes, though significant, do not indicate a defined trend but may fit the normal climate cycles. On this controversial topic the scientific discussion is still open.

Medium and long-term case studies suggest a change in rainfall trends. Some Authors individuate an apparent increase of rainstorms frequency in time (Guzzetti, 2000; Giannecchini & D'Amato Avanzi, 2012). Such events have often caused landslides and floods with serious damages to territory and community.

During the last decades, Northern Tuscany has been hit by several catastrophic rainstorms. These intense rainfalls caused victims and huge damages mainly in the provinces of Lucca, Massa-Carrara and Pistoia – as happened on June 19, 1996 in Versilia and Garfagnana (14 casualties) (ANPA-ARPAT, 1998; D'Amato Avanzi & Giannecchini, 2003; D'Amato Avanzi *et al.*, 2004) and on November 20, 2000 in the middle Serchio River valley (5 deaths), in the Pistoia province (D'Amato Avanzi *et al.*, 2002; Casagli *et al.*, 2006; Giannecchini & Verani, 2006) and on September 23, 2003 in the Carrara Marble Basin (Cortopassi *et al.*, 2008).

Recent significant events also occurred in December 2009 (north-western Tuscany - D'Amato Avanzi *et al.*, 2010), June 2010 (Middle Serchio River valley), October 2010 (Massa-Carrara province, 3 casualties) and December 2010 (Garfagnana).

This paper summarises characteristics and main effects of the meteorological events which hit the provinces of Lucca and Pistoia in December 2009, focusing especially on their consequences on slopes. Moreover, it also describes the main characteristics of the heavy rainstorm which hit the Massa hinterland.

2. THE DECEMBER 2009 EVENTS

From 18 to 21 December 2009 heavy rainfalls and snowfalls occurred at sea level in

north-western Tuscany. Such precipitations caused floods and several landslides in the Serchio River valley, Apuan Alps (Province of Lucca) and Pistoia Apennines (Province of Pistoia).

The Serchio R. was interested by an up to 1900 m³/s discharge (Nardi, 2010); therefore it broke the embankments causing floods in some areas (about 30 km² wide, Fig. 1) of the Lucca and Pisa plains.

Throughout the considered area, the total rainfall of December corresponds to about the

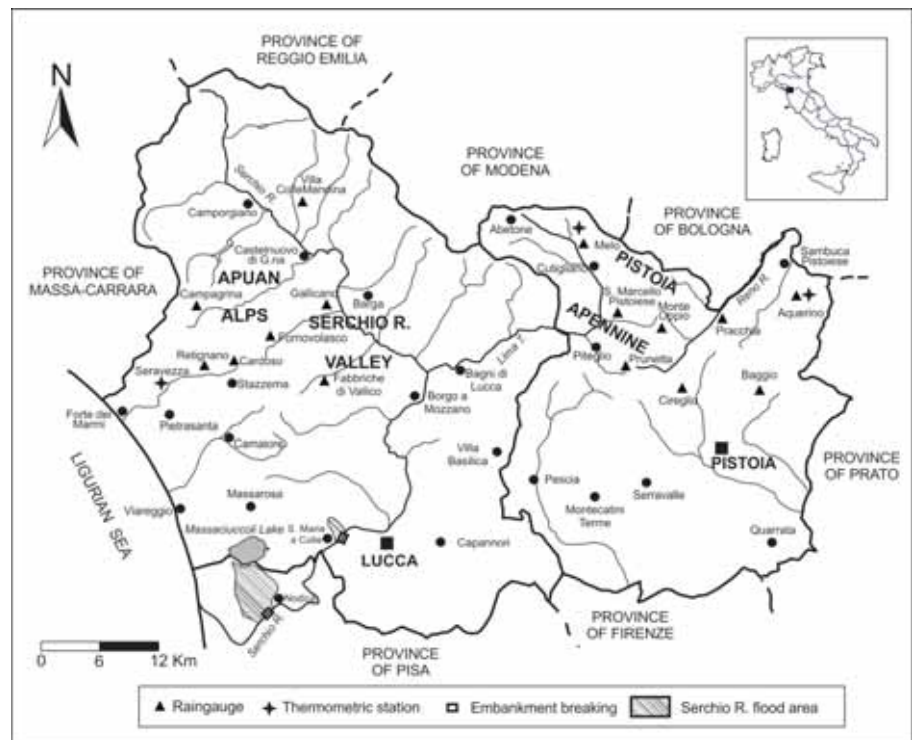


Figure 1 – Location map of the Lucca and Pistoia provinces, with the raingauges and thermometric stations used for this study.

Tab. 1 – Rainfall values of December 2009 at some raingauges of the Lucca and Pistoia provinces, compared with the annual average precipitation (* rainy day: day characterized by at least 1 mm of rainfall) (data by Tuscany Regional Hydrologic Service).

Raingauge	Altitude (m)	Area	Rain amount (mm)	Rainy days*	Average rainy days (mm)	Yearly average (mm)	Period	%
Campagrina	807	Apuan Alps	997.8	14	62.3	2922.4	1975-2005	34.1
Cardoso	398	Apuan Alps	664.6	15	41.4	2041.2	1998-2005	32.6
Fabbriche di Vallico	417	Serchio R. Valley	648.8	13	49.8	2033.3	1996-2005	31.9
Fornovolasco	470	Serchio R. Valley	579.6	12	44.6	2346.9	1965-1985	24.7
Gallicano	186	Serchio R. Valley	524.6	15	34.9	1626.8	1975-2005	32.2
Acquerino	900	Pistoia Apennines	613.0	17	36.1	-	-	-
Cireglio	630	Pistoia Apennines	572.4	16	35.7	1594.8	1975-2005	35.9
Melo	992	Pistoia Apennines	589.2	16	36.8	-	-	-
Pracchia	635	Pistoia Apennines	675.8	16	42.2	-	-	-
Prunetta	951	Pistoia Apennines	530.4	16	33.2	1763.5	1975-2005	30.1

30% of the average annual precipitations (Tab.1). The most abundant monthly rainfall was recorded at the Campagrina raingauge (Apuan Alps, 997.8 mm) and at the Pracchia raingauge (Pistoia Apennines, 676.8 mm).

The abundant rainfalls together with the rapid snow melting determined conditions near to limit equilibrium for many slopes in the studied area. In fact, many slopes collapsed during the subsequent heavy rainfalls on December 22-23 and, mainly, on December 24-25.

Unfortunately, the lack of a snowgauge in the regional monitoring network prevented an accurate estimation of snowfalls. However, the rapid snow melting might have had a significant role in causing the instability conditions of slopes. This instability was also caused by a rapid increase of the minimum temperature recorded in few days and by the concomitant heavy rainfalls. The graphs of Fig. 2 show the comparison between the daily rainfall and the minimum temperature recorded at Melo (Cutigliano) and Acquerino (Sambuca Pistoiese) raingauges and thermometric stations. The most abundant rainfall was recorded from 21 to 25 December, together with an increase of 16-17°C of the minimum temperature.

Landslides triggered during the 22-23 and 24-25 December events. Rainfall fell on a nearly saturated soil, which was probably in limit equilibrium conditions, because of antecedent rainfalls and snowfalls occurred between 18 and 21 December. In fact, during the previous 30 days, the Campagrina, Cardoso, Fabbriche di Vallico and Gallicano

raingauges recorded 553.8, 343.4, 327.2 and 269.6 mm, respectively.

The graphs of Fig. 3 show the trend of the cumulative rainfalls recorded during the first rainfall event in few raingauges of Lucca province (Fig. 3A) and Pistoia province (Fig. 3B). This event (lasted 11 hours, 22-23/12) affected mainly the Serchio River valley and the Apuan Alps. The rainfall intensity was

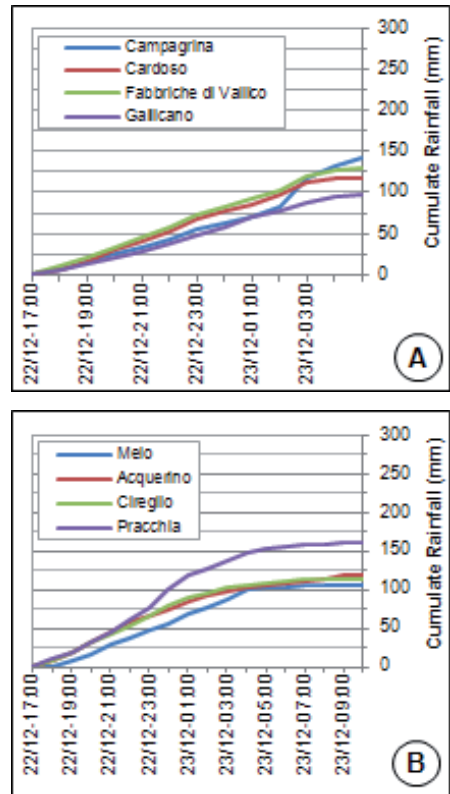


Figure 3 - Cumulative rainfall recorded on December 22-23, 2009 in few raingauges of Lucca province (A) and Pistoia province (B) (data by Tuscany Region Hydrologic Service).

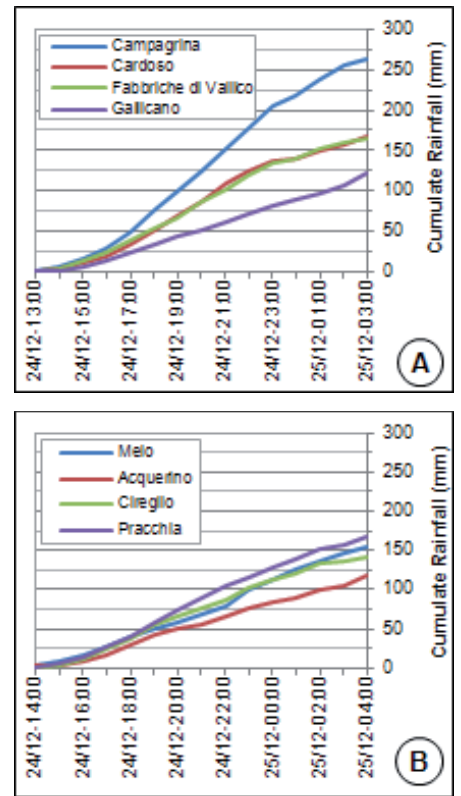


Figure 4 - Cumulative rainfall recorded on December 24-25, 2009 in few raingauges of Lucca province (A) and Pistoia province (B) (data by Tuscany Region Hydrologic Service).

263.8, 167.2 and 164.6 mm, respectively (Fig. 4A). A similar event occurred in the Pistoia Apennines where, from 13.00 on 24 to 4.00 on December 25, the Pracchia and Melo raingauges recorded 168.4 mm (11.2 mm/h) and 153.8 mm (10.3 mm/h), respectively (Fig. 4B).

In order to highlight the importance of the December 2009 events, Fig. 5 shows the duration (h) and intensity (mm/h) values recorded by the Cardoso raingauge on December 22-23 and 24-25 (11 h and 10.6 mm/h, 15 h and 11.1 mm/h, respectively) and compared with the duration/intensity critical threshold curves for triggering landslides, obtained by Gianecchini (2006) for the Southern Apuan Alps. Such events are placed in the area between the higher and the lower threshold curves, where meteorological events may cause, locally or diffusely, instability phenomena.

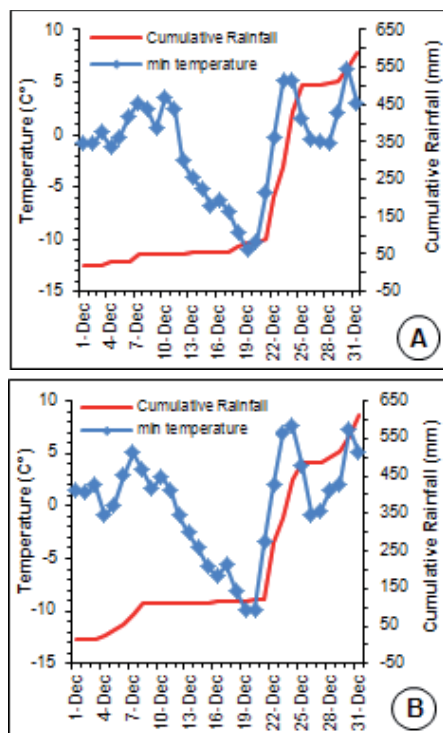


Figure 2 - Daily rainfall and temperature recorded at Melo (A) and Acquerino (B) in the Pistoia Apennines (data by Tuscany Regional Hydrologic Service).

10.6 mm/h and 11.5 mm/h at the Cardoso and Fabbriche di Vallico raingauges, respectively.

However, the most damaging rainfall occurred in the night between 24 and 25 December, when from 9 p.m. to 11 a.m. incessant rainfall was recorded. The precipitation reached the highest intensity from 12.00 on 24 to 3.00 on December 25, when the Campagrina, Cardoso and Fabbriche di Vallico stations recorded

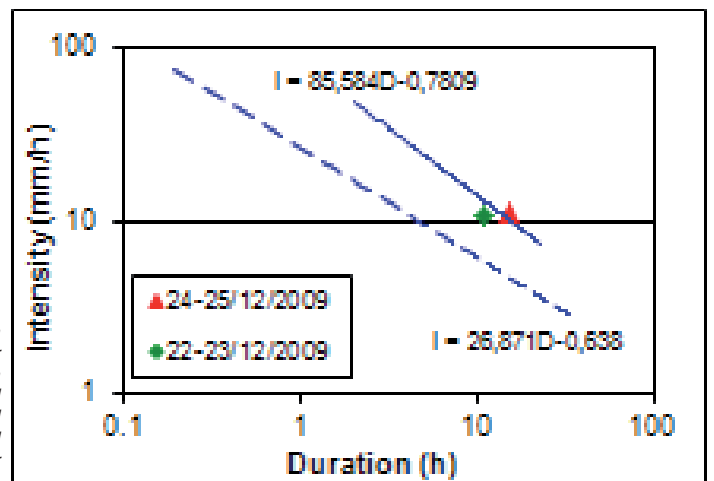


Figure 5 - Comparison between the December 2009 rainfall events in terms of duration and intensity and the critical threshold curves obtained by Gianecchini (2006) for the Southern Apuan Alps.

2.1. EFFECTS OF THE DECEMBER 2009 EVENTS

The heavy rainfalls of December 2009 triggered more than 600 landslides in Northern Tuscany. Landslides chiefly affected the road network, mainly for lack or deficiency of surface water draining systems. This happened for example along the national road n. 445 next to Camporgiano (Fig. 6) and Piazza al Serchio (Serchio R. valley), along the national road n. 12 next to Popiglio village (Piteglio - Pistoia Apennines) and along many other roads of the Lucca and Pistoia provinces. Moreover, some landslides cut off 13 villages for several days, while other mass movements involved a few houses, as

environments: colluvium/debris thin slope cover (from few decimetres to some metres thick), semi-permeable or impermeable bedrock, hollow shaped slope and high slope gradient, as highlighted also by D'Amato Avanzi *et al.* (2002, 2004) in some Apuan areas.

Some mass movements also involved the uppermost, weathered and fractured portion of the bedrock. This bedrock was mainly formed of sandstone (Macigno Fm., Tuscan Nappe), metamorphic sandstone, siltstone or phyllite (Pseudomacigno Fm., Apuan Metamorphic Complex).

However, in some cases different types of movements occurred, as rock and debris rota-

ince (Fig. 10) on October 31. Here the rainstorm triggered hundreds of landslides, causing also three deaths in the Massa hinterland.

On October 31, 2010 the Canevara (Massa), Cerreto (Montignoso), Candia Scurtarola (Massa) and Carrara raingauges recorded 179.0, 198.8, 177.0 and 145.0 mm, in 24 hours respectively (Fig. 11). The highest intensity was recorded from 3.00 to 4.00 at Canevara and Cerreto (42.8 and 46.0 mm/h, respectively) and from 2.00 to 3.00 at Candia and Carrara (30.2 and 21.4 mm/h, respectively).

However, the period of rainfall already began in the 30 preceding days and then con-



Figura 6 - Rotational debris slide triggered along the SR 445 road near Camporgiano village (Serchio R. valley).



Figura 7 - Satellite view of a soil slip-debris flow near Pracchia (Pistoia Apennines).



Figura 8 - Rotational slide involving fractured rock (sandstone and siltstone) and debris near Pracchia (Reno R. valley).



Figura 9 - Lateral levee on the right side of a channelized debris flow involving the pelitic lithofacies of the Scaglia Toscana Fm. (Serchio R. valley).

happened at Castelnuovo di Garfagnana and Campolemisi (Garfagnana, Lucca province).

Many December 2009 landslides were first time movements, mainly referable to complex, translational debris slide-flow (Cruden & Varnes, 1996) or soil slip-debris flows (Campbell 1974, 1975; Crosta *et al.*, 1990; Crosta, 1998) (Fig. 7), typically triggered by intense rainfall. In the study area they occurred in peculiar geologic and geomorphologic envi-

ronments: colluvium/debris thin slope cover (from few decimetres to some metres thick), semi-permeable or impermeable bedrock, hollow shaped slope and high slope gradient, as highlighted also by D'Amato Avanzi *et al.* (2002, 2004) in some Apuan areas.

3. THE OCTOBER 2010 EVENT

In the autumn 2010, heavy and nearly continuous rainfall hit the Northern Tuscany and Northern Italy in general, causing heavy damage in particular in the Massa-Carrara prov-

ince (Fig. 10). In fact, from 1 to 30 October, the Canevara and Cerreto raingauges recorded 251.8 and 248.8 mm, respectively.

As shown in Fig. 12, the rainy days in October 2010 are not so many. In fact, rainfall was concentrated in three principal rainfall events, on 4-5, 16-17 and 24-25 October. Such events did not trigger landslides, but played a significant role in preparing the in-



Figura 10 – The area of Massa-Carrara province most affected by the October 31, 2010 rainfall event. The yellow triangles represent the raingauges used for this study.

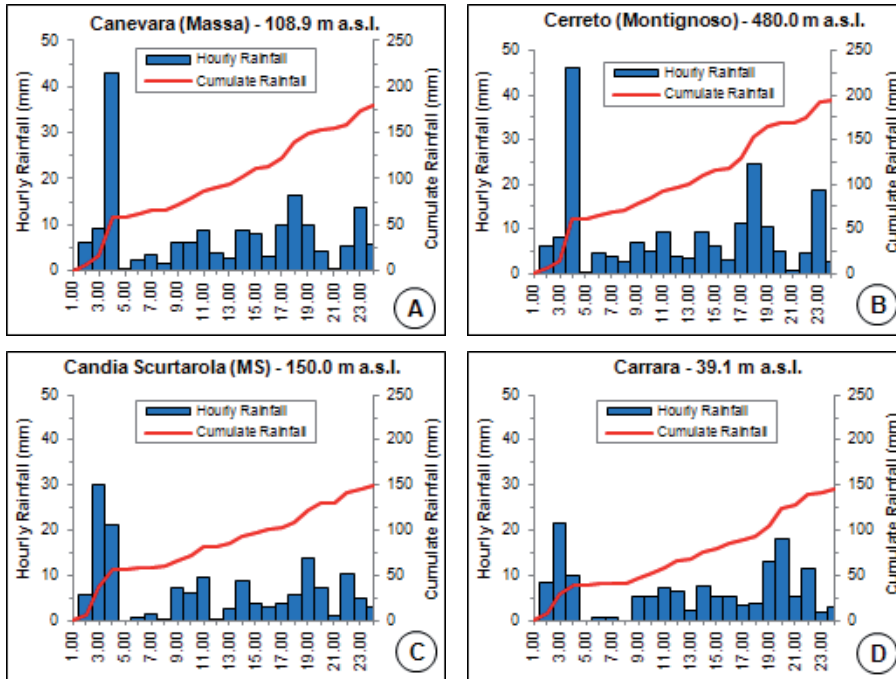


Figura 11 – Hourly and cumulative rainfall of October 31, 2010 at the Canevara (A), Cerreto (B), Candia Scurtarola (C) and Carrara (D) raingauges. (data by Tuscany Region Hydrologic Service).

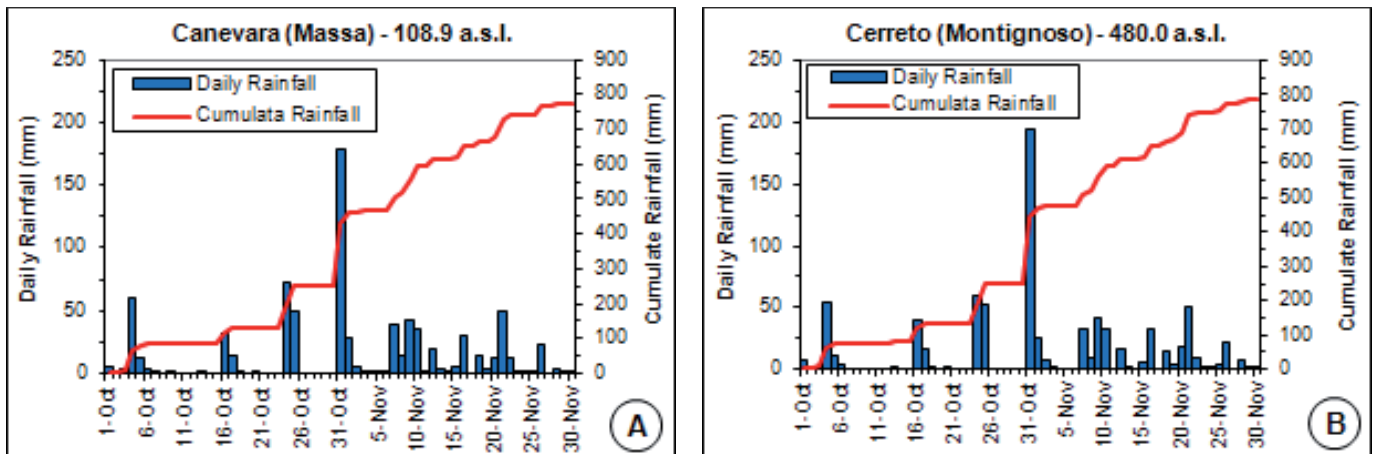


Figura 12 – Daily and cumulative rainfall of the October, 31 – November, 30 period at the raingauges of Canevara (A) and Cerreto (B) (data by Tuscany Regional Hydrologic Service).

stability of the slopes, which collapsed during the subsequent heavy rainfall of October, 31. In November rainfall became almost continuous, although less intense and the Canevara and Cerreto raingauges recorded 344.8 (23 rainy days) and 344.0 mm (22 rainy days), respectively (Fig. 12).

3.1. EFFECTS OF THE OCTOBER 2010 EVENT

The October 31 heavy rainfall caused hundreds of landslides, mostly of first generation, mainly referable to soil slip-debris flows. These phenomena were usually superficial (from 0.5 to 2 m thick), mainly linear (width/length ratio 0.03-0.5), and generally involved

soil and sometimes portions of bedrock. They mainly triggered in the hollows of the slopes underlain by sandstone, metamorphic sandstone and phyllitic-schist, at the top of the zero-order basins. In fact, the concave morphology of the hollows favoured runoff, while the concave soil-bedrock interface induced the concentration of subsurface downflow, saturation and build-up of pore pressures. This type of landslide is usually associated with heavy, severe rainstorms (Campbell, 1974, 1975; Wieczorek, 1987, 1996).

The mass movements especially affected the road network, mainly due to the absence or inefficiency of the surface water drainage system. Many roads were blocked for several days. Moreover, some landslides isolated many villages for many days.

Some landslides also involved houses, causing serious damage and three victims, like at Lavacchio village (2 deaths – Fig. 13) and Mirteto village (1 death) in the Massa hinterland. A total of 64 persons were evacuated as a precautionary measure in various village of the province.

4. FINAL REMARKS

The heavy rainfall events of December 2009 and October 2010 highlighted the fragility of wide areas of the Northern Tuscany. Many landslides occurred along the road network and involved houses and infrastructures. Despite their little size, they caused heavy damage and also deaths. This was probably also caused by the lack of a correct maintenance of the road drainage systems in hill/mountain areas, but a short-sighted territorial planning might have contributed by underestimating hazard and risk.



Figura 13 - A) Soil slip-debris flow triggered at Lavacchio, near Massa. It buried a house, killing two people. B) Detail of the crown.

a territorial planning really considering the hydrogeologic, hydraulic and seismic risks of the territory and should program investments, strategies and measures for risk reduction.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Authors are grateful to the Tuscan Region Hydrologic Service (in particular to Dr. Luca Pisani) and to the Agro-meteorological Regional Agency (A.R.S.I.A.) for giving the rainfall data.

REFERENCES

- ANPA-ARPAT (1998), *19 giugno 1996: Alluvione in Versilia e Garfagnana. Un caso di studio*. Graf. Il Fiorino, Firenze, 315 pp.
- CAMPBELL R. H. (1974), *Debris flows originating from soil slips during rainstorms in Southern California*. Quarterly Journal of Engineering Geology, (7), 339-349.
- CAMPBELL R. H. (1975), *Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California*. U.S. Geological Survey Professional Paper, (851), 51 pp.
- CASAGLI N., DAPPORTO S., IBSEN M.L., TOFANI V., VANNOCCI P. (2006), *Analysis of the landslide triggering mechanism during the storm of 20th-21st November 2000, in Northern Tuscany*. Landslides, (3), 13-21.
- CROSTA G., GUZZETTI F., MARCHETTI M., REICHENBACH P. (1990), *Morphological classification of debris-flow processes in South-Central Alps (Italy)*. Proc. 6th Int. IAEG Congr., Balkema, Rotterdam, 1565-1572.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996), *Landslide type and processes*. Landslide: Investigation and Mitigation, Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 36-75.
- D'AMATO AVANZI G., GALANTI Y., GIANNACCHINI R. (2010), *Le frane indotte dagli eventi meteo del dicembre 2009 in Toscana nord-occidentale: osservazioni preliminari*. "Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo". Roma, 22/3/2010, Atti Conv. LINCEI, 185-195.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R. (2003), *Eventi alluvionali e fenomeni franosi nelle Alpi Apuane (Toscana): primi risultati di un'indagine retrospettiva nel bacino del Fiume Versilia*. Rivista Geografica Italiana, (110), 527-559.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R., PUCCINELLI A. (2002), *I movimenti franosi del novembre 2000 nella provincia di Lucca: osservazioni preliminari*. Atti Conv. "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive". Roma, 5/6/2001, Atti Conv. Lincei, (181), 365-377.
- D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R., PUCCINELLI A. (2004), *The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in the north western Tuscany (Italy)*. Engineering Geology, (73), 215-228.
- GIANNACCHINI R. (2006), *Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy)*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., (6), 357-364.
- GIANNACCHINI R., D'AMATO AVANZI G. (2012), *Historical research as a tool in estimating hydrogeological hazard in a typical small alpine-like area: The example of the Versilia River basin (Apuan Alps, Italy)*. J. Phys. Chem. Earth, doi:10.1016/j.pce.2011.12.005.
- CORTOPASSI P. F., DADDI M., D'AMATO AVANZI G., GIANNACCHINI R., LATTANZI G., MERLINI A., MILANO P. F. (2008), *Quarry waste and slope instability: preliminary assessment of some controlling factors in the Carrara marble basin (Italy)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue 1, 99-118.
- GIANNACCHINI R., VERANI, M. (2006), *The November 2000 intense reinfall in the Pescia area (North Tuscany, Italy): characteristics and effects of the pluviometric event*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, (1), 19-34.
- GUZZETTI F. (2000), *Landslide fatalities and evaluation of landslide risk in Italy*. Engineering Geology, (58), 89-107.
- NARDI R. (2010), *Le rotture arginali del fiume Serchio durante la piena del 25 dicembre 2009*. Geoitalia, 30, 34-37.
- WIECZOREK G.F. (1987), *Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in Central Santa Cruz Mountains, California*. Costa J.E. and Wieczorek G.F. (eds). "Debris flow/avalanches: process, recognition and mitigation": Geol. Soc. Am., Rev. Eng. Geol., (7), 93-104.
- WIECZOREK G.F. (1996), *Landslide triggering mechanisms. Landslide: Investigation and Mitigation*, Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 76-90.

L'evento alluvionale del 22 ottobre 2008 nel comune di Capoterra (Sardegna Meridionale)

La devastazione causata dal Rio S. Girolamo e dai suoi affluenti

MARIA RITA LAI
Geologa, Vicepresidente dell'Associazione 22 Ottobre
e-mail: mrita.lai@enas.sardegna.it

ANTONIO SAU
Geologo, Presidente dell'Associazione 22 Ottobre
e-mail: anto.sau@tiscali.it

PREMESSA

La mattina del 22 ottobre 2008 nel comune di Capoterra, in provincia di Cagliari, alcune lottizzazioni (Poggio dei Pini, Residenza del Poggio, Rio S. Girolamo, Frutti d'Oro) ubicate nel bacino idrografico del Rio S. Girolamo furono improv-

visamente investite dall'onda di piena causata da un fenomeno alluvionale che si espresse nella sua massima intensità tra le 7,30 e le 8,00 del mattino. I danni furono enormi e di vario tipo: distruzione e danneggiamento di 5 ponti; distruzione di reti idriche e fognarie e di impianti di illuminazione pubblica; tracimazione di una piccola diga in materiali sciolti che sbarrava l'alveo e l'erosione del relativo paramento di valle; danneggiamento di una parte di uno sbarramento in muratura; allagamento di centinaia di abitazioni e scantinati; trasporto in mare di numerose autoveicoli, centinaia di sfollati e infine la perdita di 4 vite umane, travolte dall'onda di acqua, fango e pietre che si riversò lungo l'alveo e nella piana costiera, intensamente edificata.

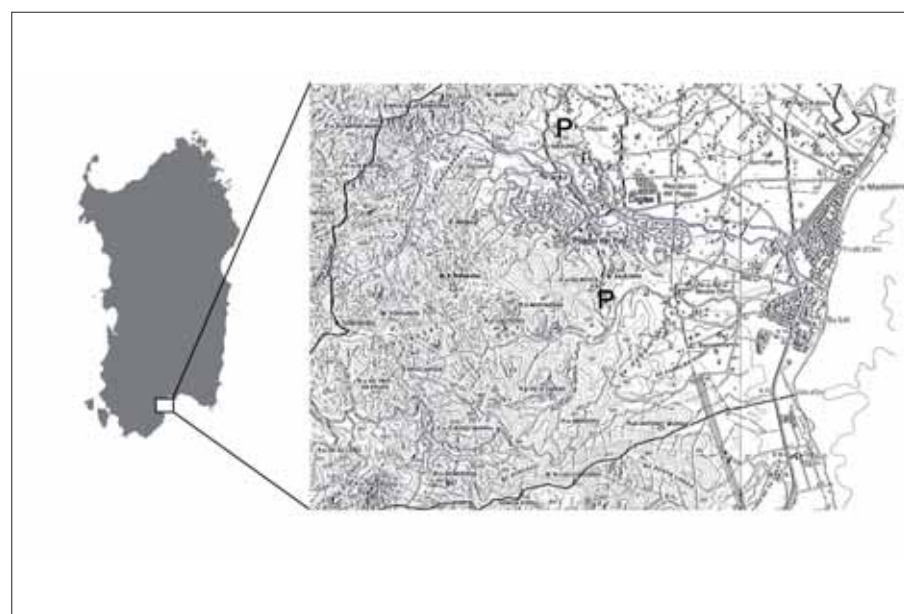


Figura 1 – Localizzazione dell'area: le "P" indicano la posizione dei due pluviografi.

visamente investite dall'onda di piena causata da un fenomeno alluvionale che si espresse nella sua massima intensità tra le 7,30 e le 8,00 del mattino. I danni furono enormi e di vario tipo: distruzione e danneggiamento di 5 ponti; distruzione di reti idriche e fognarie e di impianti di illuminazione pubblica; tracimazione di una piccola diga in materiali sciolti che sbarrava l'alveo e l'erosione del relativo paramento di valle; danneggiamento di una parte di uno sbarramento in muratura; allagamento di centinaia di abitazioni e scantinati; trasporto in mare di numerose autoveicoli, centinaia di sfollati e infine la perdita di 4 vite umane, travolte dall'onda di acqua, fango e pietre che si riversò lungo l'alveo e nella piana costiera, intensamente edificata.

L'area non è nuova a simili eventi: tutta la zona della Sardegna sud-occidentale (Sulcis), ed in particolare il comune di Capoterra, è particolarmente soggetta a precipitazioni intense in occasione di depressioni mediter-

anee con correnti da sud-est. Altri eventi simili sono noti e si sono verificati negli ultimi cento anni sempre nella stessa zona, quasi sempre con effetti devastanti, come riscontrabile dalla raccolta sistematica degli eventi realizzata dall'Ordine Regionale dei Geologi della Sardegna (5).

diffusi i prodotti dell'alterazione dei graniti rappresentati da sabbia, ciottoli e blocchi granitici spesso di dimensioni metriche, oltre ad estese coltri di depositi di versante a spessore variabile. La copertura vegetale su queste litologie è costituita da una macchia mediterranea fitta, a lecci, sughere e carrubi. Lungo i pendii si innestano i principali affluenti del Rio San Girolamo come il S'Arriu de Sa Figu, il Canale S. Antoni in sinistra idrografica; il Rio Sa Scabitzada, il Canale Santa Barbara, il Rio Is Tintionis ed il Rio de Malamorti in destra idrografica. La conformazione della valle subisce una brusca variazione a valle delle due dighe di Poggio dei Pini, dove si apre la piana alluvionale costiera, formata da depositi alluvionali pleistocenici, in posizione rilevata rispetto all'alveo attuale, costituiti da sedimenti ciottoloso-ghiaiosi in matrice limoso-sabbioso-argillosa fortemente arrossata. Questi depositi giungono quasi fino alla costa, dove sfumano nei depositi limoso-sabbiosi sciolti recenti ed attuali, che formano le zone litorali e l'immediato entroterra (zona delle lottizzazioni Rio S. Girolamo e Frutti d'Oro).

L'EVENTO ALLUVIONALE E LE SUE RIPERCUSSIONI SUL TERRITORIO NATURALE ED ANTROPIZZATO

Il fenomeno alluvionale del 22 ottobre 2008 si è sviluppato con forza a partire dai versanti montani, per lo più in rocce impermeabili. Benché nelle settimane precedenti vi fossero stati fenomeni piovosi durati diverse ore, la pioggia è arrivata sul terreno estremamente secco e ha trovato la vegetazione fortemente stressata dal lungo deficit idrico che permaneva nell'area del Sulcis da mesi; le ultime precipitazioni, infatti, si erano verificate nel mese di aprile. L'arrivo delle piogge, con l'improvvisa imbibizione del terreno velocemente saturato, ha favorito fenomeni di erosione diffusa ed incanalata, con l'innescio di un elevato trasporto solido verso valle di grandi masse di suolo, depositi di versante e vegetazione. L'erosione incanalata si è tradotta con forme in cui le larghezze dei solchi hanno raggiunto le decine di metri e lunghezze delle aste erose di centinaia di metri (Foto 1 e 2).

IL BACINO IDROGRAFICO DEL RIO S. GIROLAMO

Il bacino del Rio San Girolamo ha una superficie di circa 15 km² alla sezione di chiusura della SS 195, a monte della confluenza del suo affluente principale in destra idrografica, il Rio Masone Ollastu; l'area montana occupa una superficie di circa 7,7 km², mentre la parte collinare e di pianura occupano 7,4 km². I principali rilievi che delimitano la testata del bacino sono costituiti dal M. Santa Barbara 615 m, S'Arcu de S'Olioni 614 m, dal M. Turrineri 696 m, dal M. Conchioru 740 m, Punta Is Postas 612 m, S'Arcu de Is Sennoras 484 m e dal M. Arrubiu 348 m. La costituzione geologica è formata in minima parte da rocce metamorfiche paleozoiche (metasiltiti e metarenarie), la gran parte del bacino è costituito da graniti grigio-rosati, formanti il batolite del Sulcis (leucograniti equigranulari del Carbonifero superiore-Permiano). Lungo i versanti ripidi e scoscesi sono assai



Foto 1 e Foto 2 - Erosione incanalata per centinaia di metri lungo il settore montano granitico del Rio Sa Scabitzada (affluente in dx idrografica del Rio S. Girolamo), è evidente la traccia lasciata dall'azione erosiva del fiume, sulla sinistra la cima del Monte S. Barbara (Foto M. R. Lai).

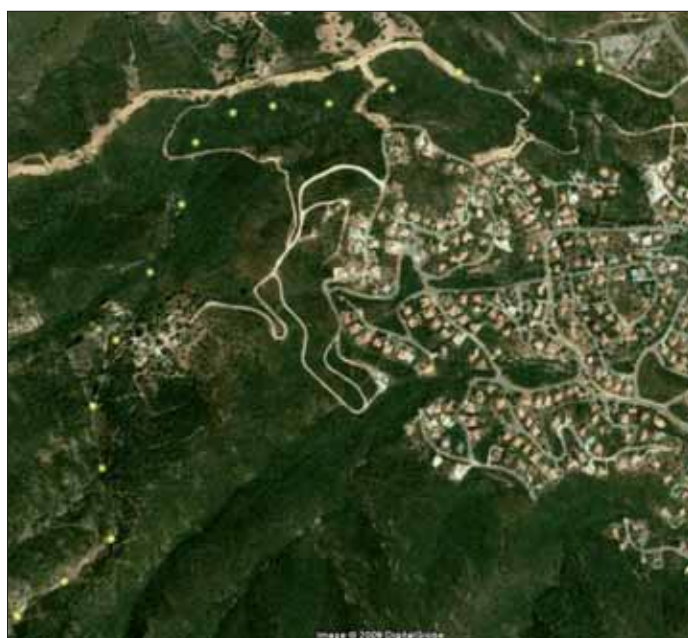


Foto 3 e Foto 4 - Il canale di Sa Scabitzada nelle foto aeree: prima dell'alluvione (in alto, in puntini bianchi la traccia del canale - foto Google) e dopo l'alluvione (in basso - foto Ministero dell'Ambiente).

Durante l'evento meteorico i vari affluenti hanno portato a valle una notevole quantità di materiale a pezzatura medio grossolana, facendo riemergere in alcuni casi il substrato granitico e generando vaste conoidi di detrito alla confluenza con il Rio San Girolamo.

Nel tratto montano si osservano ovunque intensi fenomeni erosivi (Foto 3, 4, 5, 6, 7) e di trasporto anche di grossi blocchi granitici da parte dei corsi d'acqua, ciò ha come conseguenza il cambiamento della morfologia dei luoghi e dei depositi alluvionali preesistenti, con formazione di nuovi corpi sedimentari nei punti in cui la corrente aveva la possibilità di allargarsi e di diminuire di intensità.



Foto 5 - Un antico sentiero di carbonai lungo il Rio San Girolamo, nel bacino montano, l'erosione ha messo a nudo la roccia granitica (Foto M. Rita Lai).



Foto 6 - Erosione dei depositi di versante formati da elementi di rocce metamorfiche e sabbie limose, lungo un sentiero nel bacino montano, zona Arcu S. Antoni) Foto M. Rita Lai).

edificio (Foto 11) che risulta fortemente danneggiato.

In questa zona, oltre al Rio S. Girolamo, i numerosi affluenti provenienti dalla destra idrografica, che attraversano l'intera lottizzazione di Poggio dei Pini, a causa della forte pendenza dei versanti, hanno generato una ingente movimentazione di inerti affluiti nel corso d'acqua principale, e in particolare nella coda dell'invaso collinare. Le acque miste ai detriti sormontano, asportandolo, il rilevato della strada vicinale di Santa Barbara, che attraversava il corpo idrico con uno scatolare di luce insufficiente. A valle di questo ponte (Foto 12), per effetto della riduzione della pendenza e della vicinanza dell'invaso artificiale che provoca un effetto di bacinizzazione, si forma un altro enorme conoide alluvionale: il materiale è costituito da grossi massi anche metrici, blocchi e ciottoli di dimensioni variabili con una matrice prevalentemente sabbiosa granitica.



Foto 7 - Coni di detrito formati da blocchi e massi di rocce metamorfiche nel bacino montano zona Arcu Su Linnarbu - Miniera di Ferro (Foto M. Rita Lai)



Foto 8 - La zona del ponte per l'eremo di San Girolamo (Foto Protezione Civile - Ing. Cicalò).

All'uscita dal bacino montano il fiume inizia a divagare e ad assumere un caratteristico andamento meandriforme con canali anastomizzati. In corrispondenza del primo ostacolo, rappresentato dal ponte per l'antico eremo di San Girolamo, l'alveo attivo tende a dirigersi verso la sponda destra; qui buona parte dell'alveo è occupato dal rilevato stradale, che crea un impedimento al naturale deflusso delle acque verso valle: durante l'evento alluvionale il ponte resta in piedi ma il rilevato in destra idrografica crolla (Foto 8).

Poco più avanti, in prossimità della struttura del centro ricerche idriche Hydrocontrol (che occupa in sinistra gran parte dell'ambito fluviale), il Rio sa Scabitzada forma un'ampia conoide alla confluenza con il Rio S. Girolamo e riversa nell'alveo, e sul secondo ponte, massi di dimensioni metriche (Foto 9 e 10).

A valle del ponte dell'Hydrocontrol il corso d'acqua erode la sponda destra all'altezza delle piscine del centro residenziale Poggio dei Pini e le acque inondano l'area golenale.

Poco oltre il corso d'acqua incide fortemente la sponda sinistra, coinvolgendo un

Subito a valle del ponte, la diga in materiali sciolti di Poggio dei Pini viene sormontata per almeno 1 m sopra il ciglio arginale e il paramento di valle viene eroso sensibilmente, per circa 1/3 del suo volume, ma fortunatamente il rilevato regge e non crolla (Foto 13 e 14).

Subito a valle si trova il quarto ponte (Foto 15 e 16), ubicato in corrispondenza del canale di scarico superficiale della diga. L'acqua erode il rilevato in sponda sinistra e due persone che lo attraversavano in macchina vengono trascinate via, i loro corpi saranno



Foto 9 e Foto 10 - Le zone di sedimentazione dei detriti trasportati dal fiume sono occupate dalle infrastrutture stradali: a destra il ponte a valle dell'Hydrocontrol completamente distrutto. I depositi fluviali sono formati in prevalenza da massi e pietrame vario e in minor misura da sabbia.



Foto 11 - Una casa lambita dalle acque del fiume a Poggio dei Pini (Foto L. Putzolu).

ritrovati solo dopo alcuni giorni, circa 500 m più a valle in una zona pianeggiante sede di impianti sportivi.

La zona a valle della diga è caratterizzata da un profondo canyon scavato nella roccia granitica, con un alveo ricolmo da migliaia di metri cubi di depositi grossolani e sabbiosi. Questi vengono presi in carico dalla corrente e trasportati nella successiva zona pianeggiante, 500 m più a valle. In origine questa zona era sede di diversi canali anastomizzati



Foto 12 - Il ponte sulla strada vicinale S. Barbara in coda al lago di Poggio dei Pini, è ben visibile l'estensione del conoide (Foto Protezione Civile - Ing. Cicalò).



Foto 13 e Foto 14 - La zona della diga in terra di Poggio dei Pini: il canale di scarico la mattina del 22 ottobre erode il rilevato del ponte e la diga tracimata ha il paramento eroso, a destra si vede anche il quarto ponte distrutto (Foto Protezione Civile - Ing. Cicalò - Foto Genio Civile - Dr. G. Novella)



Foto 15 e Foto 16 – Il ponte posizionato in corrispondenza del canale di scarico della diga.



Foto 19 – La zona dell'impianto di sollevamento fognario, bombardato dai massi

del fiume, ma fu trasformata negli anni '70 in area sportiva: i campi da tennis, calcio e calcetto vengono sommersi dai sedimenti (Foto 17 e 18), un impianto di sollevamento fognario viene distrutto (Foto 19), un tratto di circa 200 m di strada scompare.

Da questo punto inizia la vera e propria piana costiera, formata da una zona agricola che viene anch'essa gravemente danneggiata (Foto 20 e 21): serre distrutte, agrumeti devastati, pozzi e condotte idriche travolte, un maneggio allagato, pecore, maiali, cavalli e altri animali trascinati verso il mare.

Anche gli ultimi ponti che intersecano il fiume, uno comunale e uno sulla SS195, sono danneggiati; una scuola materna a pochi metri dalla sponda sinistra viene sommersa (Foto 22 e 23), fortunatamente a causa dell'ora in cui è avvenuto l'evento i bambini non erano ancora arrivati a scuola, ma due maestre vengono travolte dall'acqua e si salvano in extremis, mentre le loro auto vengono trascinate in mare.

Infine le lottizzazioni costiere di Rio S. Girolamo e Frutti d'Oro vengono invase da più di 1 m di fango e acqua (Foto 24 e 25) che trascina in mare tutto quello che trova, comprese numerose auto. In questa zona muoiono altre



Foto 17 e Foto 18 – La zona sportiva di Poggio dei Pini sommersa da massi e sabbia (Foto Genio Civile – Dr. Novella).



Foto 20 e Foto 21 – La zona agricola con le serre e gli agrumeti (Foto Genio Civile – Dr. Novella).



Foto 22 – La zona della lottizzazione Rio San Girolamo dove sorge la scuola materna, visibile sulla sinistra in alto nella foto (Foto Genio Civile – Dr. Novella).



Foto 23 – La zona della lottizzazione Rio San Girolamo, sono visibili i tre ponti che intersecano l'alveo, l'ultimo verso valle è quello della SS 195 Sulcitana (Foto Genio Civile – Dr. Novella).

due persone; una insegnante che attraversava il ponte sulla strada statale e un'anziana signora che si trovava in uno scantinato. Tutta la fascia costiera è sconvolta: con rilevanti erosioni delle spiagge e distruzione delle protezioni delle sponde del Rio S Girolamo e della zona alla confluenza con il Rio Masone Ollastu, che si unisce al primo rio a poche decine di metri dalla foce.

LO STUDIO IDROLOGICO, IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO

La Regione Sardegna, a pochi mesi dall'alluvione, decise di affidare l'esecuzione di uno studio idrologico, idraulico e geomorfologico al fine di comprendere le motivazioni all'origine di un tale disastro e di individuare un piano di interventi per la messa in sicurezza dell'intero bacino idrografico. Lo studio è stato realizzato da un'ATI formata dalle società Hydrodata, DHI-Italia, ART Ambiente (di seguito denominata per brevità Hydrodata), ed ha riguardato diversi aspetti del problema, al fine di giungere alla definizione delle soluzioni tecniche ottimali per la sistemazione del corso d'acqua. Lo studio è scaricabile dal sito della RAS, all'indirizzo:

http://www.regione.sardegna.it/documenti/1_327_20101112123025.pdf

Gli esiti dello studio vengono riassunti brevemente nel seguito.

- La situazione idrologica - idraulica e l'evento di piena: La precipitazione del 22 ottobre fu caratterizzata da una forte variabilità spazio-temporale. Durante il periodo tra le 03 e le 12 si registrarono 372 mm di pioggia al pluviografo del Servizio Idrografico di Poggio dei Pini e 200 mm al pluviografo dell'Osservatorio Astronomico, mentre un altro pluviografo posto nel paese di Capoterra registrò addirittura 441,2 mm. I valori di precipitazione per durata 30 minuti, un'ora e tre ore registrati dal pluviografo di Capoterra-paese e Capoterra-Poggio dei Pini risultano

superiori ai valori massimi mai registrati nella rete pluviometrica della Sardegna. Nel bacino esaminato la stazione di Poggio dei Pini mostra che il 95% delle precipitazioni si sono concentrate nel periodo tra le 6:30 e le 9:30. Nella mezz'ora tra le 6:47 e le 7:17 si arriva a 177,4 mm. Questi valori rappresentano il massimo storico per la Sardegna per la durata di un'ora. Lo studio idrologico ed idraulico mostra che la precipitazione osservata presenta tempi di ritorno ben al di sopra di quelli duecentennali assunti come riferimento nella progettazione delle opere idrauliche e di attraversamento fluviale. Alla sezione di controllo, scelta in corrispondenza della diga in muratura di Poggio dei Pini (Figura 3, sezione F) l'Agenzia di Distretto Idrografico della Sardegna immediatamente dopo l'evento ha stimato una portata al colmo, in 409 m³/sec.

Altre analisi idrauliche più precise eseguite successivamente hanno portato a stimare questa portata in circa 370 m³/s. Tale valore è quello ricavato dal modello idrologico predisposto dalla Società Hydrodata che ha stimato la portata al colmo in $Q=372$ m³/s, verificatasi alle ore 7:54 del 22 ottobre, in accordo con le osservazioni registrate. Queste portate corrispondono ad un contributo unitario del bacino imbrifero che si aggirano intorno ai 33 m³/s km². Infine vi è da aggiungere che le portate di progetto stimate dopo l'evento, rispetto alle precedenti calcolate con le linee di possibilità pluviometrica per il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, risultano notevolmente maggiori e comunque inferiori a quelle verificatesi durante l'evento, infatti, sempre con riferimento alla sezione F della diga, per un $Tr=500$ anni si ha che $Q_{stimata}=337$ m³/s, mentre la $Q_{evento2008}=372$ m³/s. Inoltre lo studio ha potuto stimare le velocità raggiunte dalla corrente nei vari tratti in cui è stato suddiviso il bacino, le velocità variano dai 7 m/s in corrispondenza del canale scolmatore della diga ai 2 m/s nella zona fociva; ma in molti tratti sia montani che intermedi la corrente ha raggiunto punte di 5-6 m/s.

- **Trasporto solido:** l'analisi del trasporto solido assume particolare importanza nella definizione e progettazione degli interventi di sistemazione idraulica dell'intero corso d'acqua. Per la valutazione del trasporto medio annuo del corso d'acqua lo studio ha preso in considerazione l'analisi effettuata per la redazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, che ha condotto alla stima della portata solida media annua mobilizzata sull'intero bacino, in circa 1200 m³/anno (Metodo di Gavrilovic, 1959): di questi circa 300 m³/anno dovrebbero fermarsi all'interno dell'invaso di Poggio dei Pini, mentre i restanti 900 m³/anno potrebbero arrivare in mare. L'analisi qualitativa di dettaglio svolta sulla base di



Foto 24 e 25 – La zona della lottizzazione costiera di Frutti d'Oro dove i primi piani delle case sono invasi dal fango: in alto durante l'alluvione (foto L. Cerina), in basso dopo l'evento (foto A. Sau).

rilevi a terra e rilievi digitali effettuati in fase pre e post evento (rilievi LIDAR e utilizzo di speciali applicativi in ambiente GIS) ha permesso di effettuare una stima del volume di materiale sedimentato: circa 201.000 m³, di cui 146.000 m³ fino all'invaso di Poggio dei Pini e circa 55.000 m³ a valle di questo; a queste stime, andrebbero sommati i volumi, non determinati, dei sedimenti a granulometria più fine trasportati in sospensione oltre la foce.

La conclusione dello studio Hydrodata è stata che "La tipologia prevalente del trasporto solido verificatasi durante l'evento di piena ha assunto connotati di trasporto di massa ... l'asta principale sarebbe stata interessata prevalentemente da un trasporto solido di fondo per rotolamento, mentre

gli affluenti sono stati caratterizzati da un trasporto solido di tipo gravitativo, con alta concentrazione volumetrica (massi di dimensioni anche metriche), che ha generato, lungo i versanti a maggior pendenza, delle colate detritiche. Gli affluenti di I e II ordine del settore montano (ad es. il Riu Sa Scabitzada) hanno contribuito in modo assai rilevante alla movimentazione attraverso il contributo di fenomenologie ascrivibili alle colate detritiche con alta concentrazione volumetrica solida (massi di dimensioni anche metriche). Anche i numerosi impluvi attraversanti l'abitato di Poggio dei Pini sono stati interessati da fenomenologie erosive e di trasporto solido, creando numerose situazioni di criticità (sovralluvionamento degli alvei, ostruzione di ponticelli, distruzione di

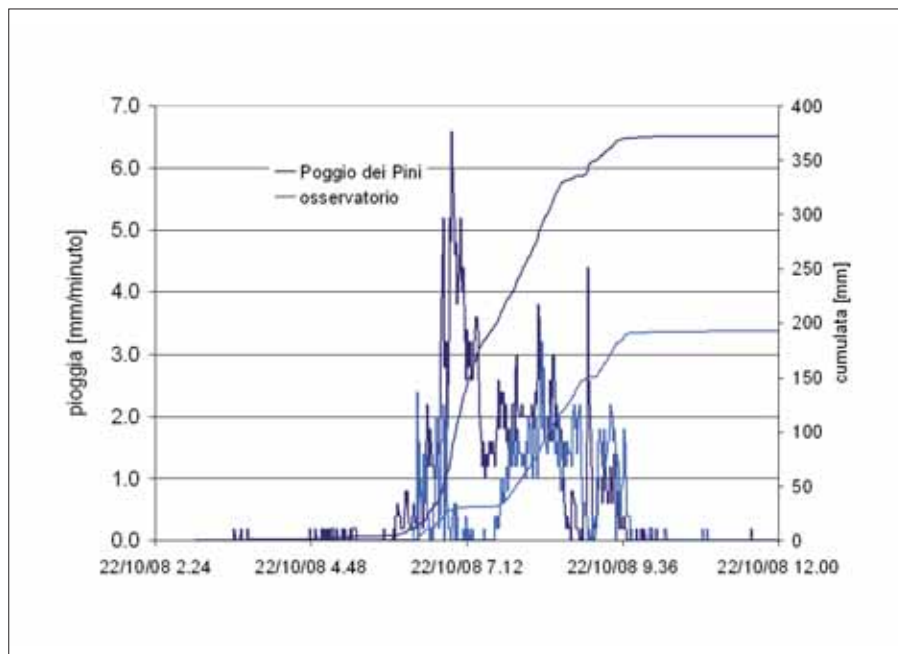


Figura 2 – Registrazione pluviografica ai pluviometri del Servizio Idrografico di Poggio dei Pini e dell'Osservatorio astronomico.

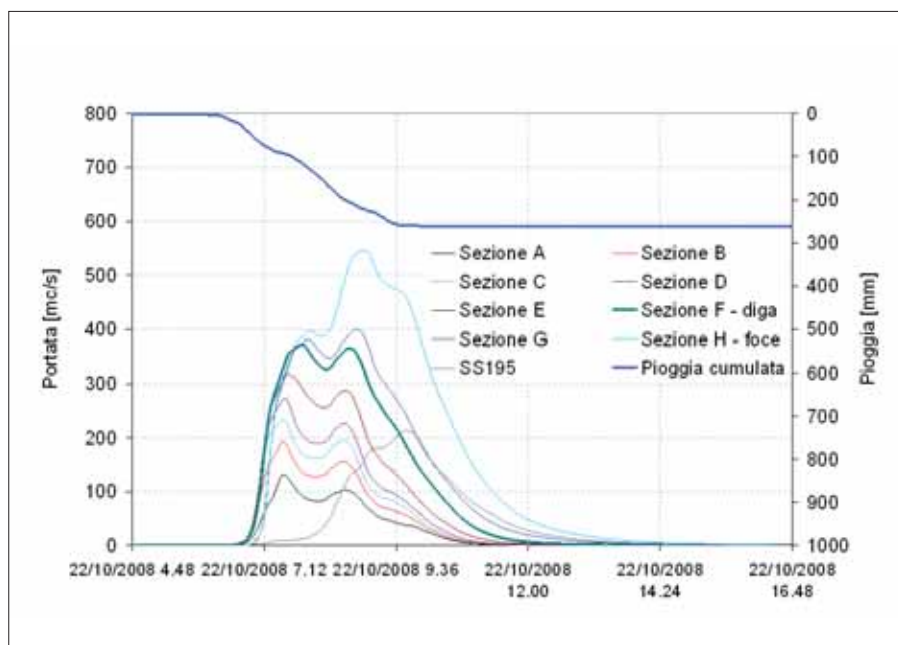


Figura 3 – Idrogrammi simulati alle diverse sezioni del fiume (fonte Studio Hydrodata)

rilevati, invasione di sabbia e fango dentro gli scantinati)".

- Il Piano di assetto idrogeologico (PAI).

Lo studio ha inoltre permesso di definire cinque fasce fluviali con tempi di ritorno pari a 2, 50, 100, 200 anni e una sesta fascia per l'inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici; ha permesso quindi di valutare il rischio idraulico del Rio San Girolamo con riferimento alla metodologia utilizzata nella redazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sardegna (Linee Guida PAI, 2000), che individua le aree a rischio per fenomeni di piena utilizzando i parametri di pericolosità idraulica e di elementi a rischio previsti dalla normativa di riferimento (DPCM 29/08/1998).

Interventi progettati da Hydrodata e interventi proposti dall'Associazione 22 ottobre:

Lo Studio Hydrodata, attraverso due fasi di lavori, è pervenuto alla definizione delle seguenti azioni, da eseguire nel tratto compreso tra il ponte per l'eremo di San Girolamo e la foce:

- Nessun intervento nel tratto montano, in quanto si ritiene che debbano essere lasciate libere di esplicarsi le dinamiche naturali dell'alveo, dando spazio ai fenomeni di erosione-trasporto-deposito del materiale solido.
- Ampliamento dell'attraversamento comunale per la località chiesa San Girolamo mediante realizzazione di nuove campate in sostituzione del rilevato destro di accesso.

- Realizzazione di due nuovi attraversamenti, in sostituzione degli esistenti, lungo la strada comunale che da Poggio dei Pini conduce a Capoterra, il primo subito a valle della struttura Hydrocontrol e il secondo in coda al lago.
- Realizzazione di interventi di difesa in prossimità della diga in terra di Poggio dei Pini.
- Interventi di sistemazione e regimazione dell'alveo dei corsi d'acqua secondari nell'area urbanizzata di Poggio dei Pini.
- Nel tratto urbanizzato della piana costiera sono state prospettate inizialmente tre soluzioni di intervento per la sistemazione del corso d'acqua che differiscono sostanzialmente per i criteri di impostazione di base. Queste soluzioni sono state discusse con gli enti interessati (ANAS, Provincia, Comune), coinvolgendo anche i cittadini. La soluzione individuata prevede un alveo di piena inciso artificiale, con canalizzazione centrale di ampiezza 50 m, in grado di far defluire una quota considerevole della portata di progetto ($Tr = 200$ anni) e con alveo di piena comunque più ampio, delimitato da argini di altezza ridotta, con il franco di sicurezza fissato in 1 m, in grado di contenere l'evento catastrofico dell'ottobre 2008.

L'Associazione 22 ottobre (<http://22ottobre.blogspot.com>), costituitasi pochi mesi dopo l'evento alluvionale ad opera di un gruppo di cittadini, residenti nelle diverse lottizzazioni coinvolte dall'evento, ha potuto esprimere il suo parere sugli interventi ipotizzati nella prima e nella seconda fase dello Studio Hydrodata, contribuendo anche alla precisazione e alla modifica di alcune scelte progettuali iniziali, ritenute non adeguate a mitigare il rischio e fortemente impattanti sul territorio. Ha riportato il punto di vista, anche tecnico, di residenti nel bacino idrografico che hanno sperimentato di persona i devastanti effetti dell'alluvione e che per questo hanno ritenuto di poter fornire un contributo specifico, utile all'analisi delle singole situazioni critiche, per l'individuazione degli interventi di messa in sicurezza del bacino del Rio San Girolamo. Nel seguito si riporta una sintesi delle osservazioni raccolte dall'Associazione nell'ambito di diversi incontri scientifici sul tema dell'alluvione, tenutisi nel corso 2009-2010 e promossi dall'Associazione stessa.

Per rispondere alle esigenze di raggiungere un "assetto del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica del territorio" l'Associazione ha proposto di attivare una serie di interventi di manutenzione ordinaria del territorio che preveda la realizzazione delle necessarie e importanti opere strutturali (ponti, viadotti, argini, muri e scogliere) e

al contempo di cicli costanti di interventi di manutenzione degli alvei, armonici con il paesaggio, totalmente integrati nell'ecosistema. Tra gli interventi proposti vi sono i seguenti, innovativi e pertinenti con il tema della riduzione del rischio idrogeologico, sia di tipo areale che lineare:

- Intervento strutturale antierosivo lungo le aste fluviali nel bacino montano dell'asta principale e dei suoi affluenti principali, che comprenda: 1) realizzazione di un sistema razionale e articolato di rallentamento della corrente fluviale e del trascinamento dei sedimenti, mediante una serie di briglie in sequenza (briglie drenanti e briglie a bocca tarata), in grado di bloccare i detriti più grossolani (fonte dei maggiori danni) e al contempo consentire di far passare i sedimenti più fini verso valle e quindi al mare; 2) realizzazione di un sistema di piccole e medie casse di espansione dislocate in più punti lungo il corso fluviale; 3) interventi di stabilizzazione dei coni di detrito nei canali, mediante gabbioni trasversali; 4) ripristino della sentieristica storica montana, fortemente danneggiata.
- Interventi idraulico-forestali areali nel bacino montano che comprendano: 1) gestione ordinaria e straordinaria delle coperture vegetali, arboree ed arbustive, con funzione di protezione dall'erosione, quando queste mostrino segni di sofferenza; 2) reimpianto nelle zone percorse da incendi (rimboschimenti con essenze autoctone resistenti al fuoco); 3) gestione controllata del bosco.
- Interventi di ridefinizione ed ampliamento della sezione di deflusso che comprendano: 1) riqualificazione ambientale del corso d'acqua e dei suoi principali affluenti (soprattutto in sponda destra) evitando le rettificazioni e gli irrigidimenti delle sezioni con tagli innaturali, trapezoidali, o peggio confinate da gabbioni; 2) consentire al fiume di creare anse e meandri, pozze con vegetazione e zone di espansione nelle aree non edificate nel tratto mediano e nell'area agricola a valle della zona sportiva; 3) eliminazione di tratti cementati (zone della foce); 4) rinaturalizzazione del fiume con piantumazioni lungo le sponde al fine di rinsaldarle e proteggerle dall'erosione; 5) aumento progressivo da monte verso valle della sezione di deflusso evitando di creare colli di bottiglia, in particolare nella zona della foce.
- Asportazione periodica localizzata di materiale vegetale morto che comprenda: 1) eventuale dirado delle piante instabili presenti esclusivamente all'interno dell'alveo e nelle immediate vicinanze

di attraversamenti che presentano una situazione di criticità al regolare deflusso, o che possano provocare danni a beni esposti; 2) evitare l'asportazione della vegetazione naturale dalle sponde che, al contrario, dovranno essere rivegetate con essenze autoctone in grado di resistere alla forza erosiva della corrente.

- Asportazione periodica di materiali litoidi medi e fini: circoscritta e localizzata a punti critici, eventualmente da rilocalizzare in sezioni vallive, in modo che il fiume li possa trasportare verso il mare contribuendo al ripascimento della costa sabbiosa.
- Valutazione dei costi/benefici delle delocalizzazioni: valutare l'alternativa di dare più spazio al fiume ed ai suoi affluenti in sponda destra, attraverso la delocalizzazione di edifici a rischio situati nelle zone di pertinenza fluviale. Tali azioni dovranno essere avviate soprattutto nel tratto prossimo alla foce, ma anche all'interno della lottizzazione Poggio dei Pini dove sono presenti alcuni casi critici, con attento esame di alcuni lotti già edificati e in fase di edificazione.
- Valutazione dei costi/benefici dell'intervento strutturale sulla diga in materiali sciolti: si propone di valutare l'opportunità di demolire il manufatto esistente e di ricostruire una diga in calcestruzzo a gravità, con soglia sfiorante centrale, che possa assolvere ai compiti di: rallentamento dell'energia del fiume, trattenimento di materiale litoide, funzioni antincendio, funzioni di presa per scopi irrigui ed eventualmente anche potabili, funzioni di nicchia ecologica per uccelli stanziali e migratori, funzioni paesaggistiche.

Coerentemente con i principi del suo statuto l'Associazione 22 Ottobre, considerato il notevole pregio paesaggistico-naturalistico dell'intera area, auspica che tutti gli interventi futuri sul Rio S. Girolamo, inteso come asta fluviale principale, affluenti e bacino idrografico, permettano la realizzazione di opere e strutture di difesa compatibili con il "Parco Fluviale San Girolamo" di cui l'Associazione ha promosso la realizzazione.

BIBLIOGRAFIA

- (1) DEL PRETE M., DEL PRETE R. (2009) - *Classifica, pericolosità e ricorrenza di movimenti di massa tipo colata in relazione alla geologia di una larga parte dell'Italia meridionale*. Geologia tecnica & ambientale. Numero monografico 1-2-3-4, 2009.
- (2) FERRO V. (2008) - *Sistemazione di bacini montani e difesa del suolo*, Nuova Editoriale BIOS.
- (3) GAVRILOVIC S. (1959) - *Methodes de la classification des bassins torrentiels et equations nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du debit solide*. Vadopriveda, Belgrado.
- (4) MAIONE U., BRATH A. MIGNOSA P. (2003) - *La*

progettazione di opere idrauliche in zona montana. Atti del Corso di aggiornamento, 7-11 dicembre 2002. Politecnico di Milano. Editoriale BIOS, 2003.

- (5) ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA (2008) - *Breve cronistoria degli eventi alluvionali accaduti nella Sardegna meridionale*. (www.geologi.sardegna.it/de/news/news/artikel/cronistoria-degli-eventi-alluvionali-nella-sardegna-meridionale).
- (6) ORTOLANI F., SPIZUOCO A. (2010) - *Evento alluvionale nel messinese del 1 ottobre 2009. la devastazione causata a Scaletta Zanclea marina dal flusso fangoso-detritico del torrente Racinazzo*. Geologia dell'Ambiente N. 1/2010.
- (7) RAS - ASSESSORATO ENTI LOCALI, FINANZE E URBANISTICA - Direzione generale della pianificazione urbanistica (2009) - *Alluvione Capoterra: studio ricognitivo dell'evento alluvionale del 22.10.2008 nel comune di Capoterra*. Documento inedito redatto in collaborazione con l'Università di Cagliari, con il Ministero dell'Ambiente, con il comune di Capoterra e con la Provincia di Cagliari.
- (8) RAS - DIREZIONE GENERALE AGENZIA DEL DISTRETTO IDROGRAFICO - Servizio difesa del suolo (2010) - ATI Consorzio Intecno - DHI-Torino, Hydrodata s.p.a. e ART Ambiente Risorse Territorio s.r.l. - (2010) - *Analisi dell'assetto fisico del Rio San Girolamo-Masoni Ollastu a seguito dell'evento di piena del 22 ottobre 2008. Rivisitazione e integrazione dello studio denominato Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, per la verifica delle delimitazioni delle fasce fluviali e per l'individuazione delle prime necessarie azioni (opere, vincoli e direttive), per il conseguimento di un assetto del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica del territorio e la salvaguardia delle componenti naturali e ambientali*. Direzione di progetto e consulenza scientifica ing. M. Mancini e dott. G. Tilocca: http://www.regione.sardegna.it/documenti/1_327_20101112123025.pdf
- (9) RAS - ASSESSORATO LAVORI PUBBLICI (2000) - *Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sardegna - Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (D.L. 180/1998 e Legge 267 del 3-08-1998) - Linee Guida*. Agosto 2000.

Relazioni tra maree eccezionali, “Acqua Alta” ad Ischia Porto e recenti dissesti delle fasce costiere

VALERIO BUONOMO
c/o Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università di Napoli Federico II

FRANCO ORTOLANI
Ordinario di Geologia, Direttore del Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio, Università di Napoli Federico II

SILVANA PAGLIUCA
CNR ISAFOM, Ercolano.
Umberto Spurio, Ischiameteo.com

Dall'inizio del 2010 presso il Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio dell'Università Federico II di Napoli si stanno eseguendo ricerche sui movimenti verticali del mare particolarmente accentuati che causano la sommersione delle banchine basse di Ischia Porto in Riva Destra e Via Iasolino e della parte più bassa di via Tenente Mariano Amendola a Lipari. In particolare il sollevamento del livello marino determina la diretta sommersione della Riva Destra di Ischia; in via Iasolino e via Tenente Mariano Amendola l'allagamento è provocato dall'acqua marina che si incunea nelle caditoie, che normalmente servono ad evacuare in mare l'acqua piovana, invadendo le strade.

Dal 31 dicembre 2009 fino ad oggi gli allagamenti hanno raggiunto valori di alcune decine di cm causando seri inconvenienti alla circolazione e alle attività economiche.

Come evidenziamo subito, si tratta di zone portuali di circa 20 cm al di sopra del livello medio marino che non sono in sicurezza dal pericolo di parziale sommersione lenta e che devono essere oggetto di appropriati interventi tesi a renderle sempre fruibili.

Dall'inizio del 2011 il livello del Mediterraneo Centro-occidentale e dei mari italiani, come evidenziato dalla Rete Mareografica Nazionale e internazionale, è stato generalmente al di sotto dello zero idrometrico grazie a generali condizioni di alta pressione atmosferica sull'area mediterranea.

Tra il 16 e il 19 febbraio del corrente anno una significativa perturbazione atmosferica è transitata sui mari italiani provocando un rapido abbassamento della pressione di circa 24 hPa; a Napoli, ad esempio, da 1023-1024 hPa del giorno 11 febbraio è scesa a 997 hPa il giorno 18 febbraio.

Contemporaneamente il livello marino massimo è aumentato di 42 cm passando da -17cm a +28cm rispetto allo zero idrometrico rilevato dal mareografo di Napoli della Rete Mareografica Nazionale (figura 1).

Come è noto il ciclo lunare influisce sensibilmente sulle escursioni di marea come quelle verificatesi tra il 16 ed il 21 febbraio (figura 2).

Durante questo intervallo sono transitate due depressioni che hanno causato l'ampli-

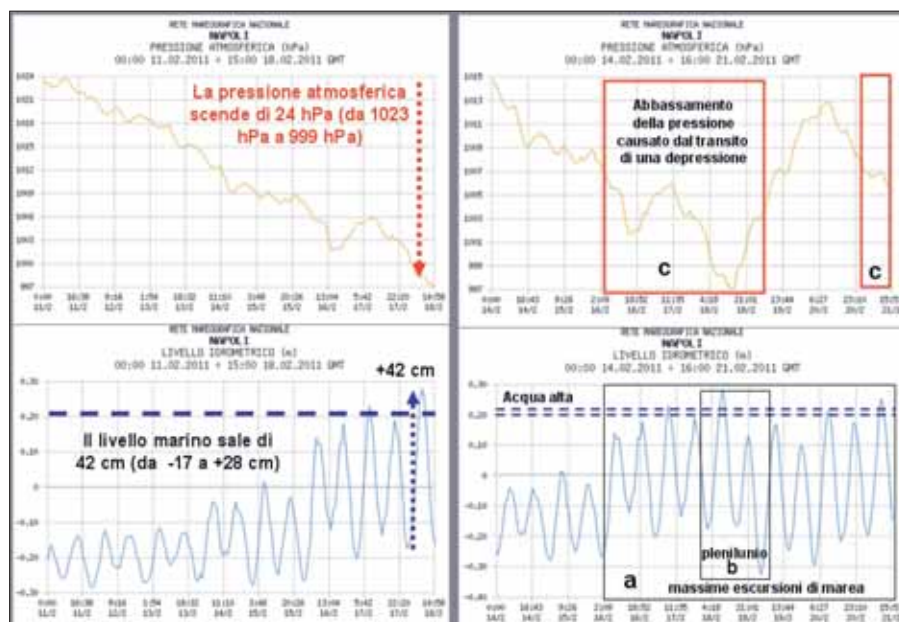


Figura 1 (a sinistra): Diminuzione della pressione e contemporaneo incremento del livello marino tra l'11 ed il 18 febbraio 2011 in relazione al transito di una significativa perturbazione atmosferica.

Figura 2 (a destra): Relazioni tra ciclo lunare e massime escursioni di marea e ulteriore incremento del sollevamento del livello marino che ha determinato l'acqua alta ad Ischia e Lipari in corrispondenza della contemporanea diminuzione di pressione atmosferica connessa al transito delle perturbazioni nel basso Tirreno tra il 16 e 21 febbraio 2011.

ficazione del sollevamento del livello marino nel basso Tirreno (figura 3).

Il sollevamento marino del giorno 18 è stato di 28 cm a Napoli mentre tra il 31 dicem-

bre 2009 e l'1 gennaio 2010 il sollevamento fu di 50 cm (figura 4).

La sommersione della Riva Destra di Ischia si è verificata dopo circa un mese e

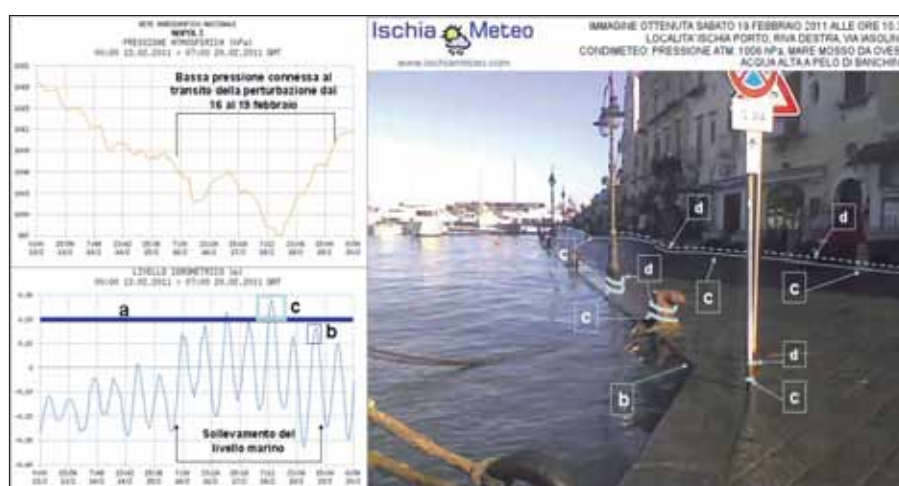


Figura 3: Le figure a sinistra riportano le registrazioni della pressione atmosferica (in alto) e del livello idrometrico (in basso) registrati a Napoli dalla Rete Mareografica Nazionale. Nella figura in basso, la linea blu (a) indica il livello del mare al di sopra del quale ad Ischia si verifica l'invasione delle banchine basse. Il riquadro b individua l'alta marea del 19 febbraio illustrata nella foto a destra; il riquadro c indica l'alta marea di 28 cm che ha causato l'allagamento di quasi tutta la banchina in Riva Destra. Nella foto a destra è illustrato il livello del mare (b) lungo la banchina in Riva Destra del Porto di Ischia nella mattina del 19 febbraio 2011 in corrispondenza dell'alta marea (riquadro b nel grafico in basso a sinistra). La banchina è bagnata poiché le manovre dei vaporetto causano piccole onde che invadono la Riva Destra. Con la lettera c è rappresentato il livello del mare (+ 28 cm sullo zero idrometrico registrato a Napoli) raggiunto durante l'alta marea del giorno 18 (riquadro c nella figura in basso a sinistra). La lettera d indica il livello del mare registrato tra il 31 dicembre 2009 e il 1 gennaio 2010.



Figura 4: Evidenza dell'eccezionale sollevamento del livello marino verificatosi tra il 31 dicembre 2009 e il 2 gennaio 2010 in Riva Destra del Porto di Ischia (a sinistra); la foto a destra illustra le normali condizioni della Riva Destra.

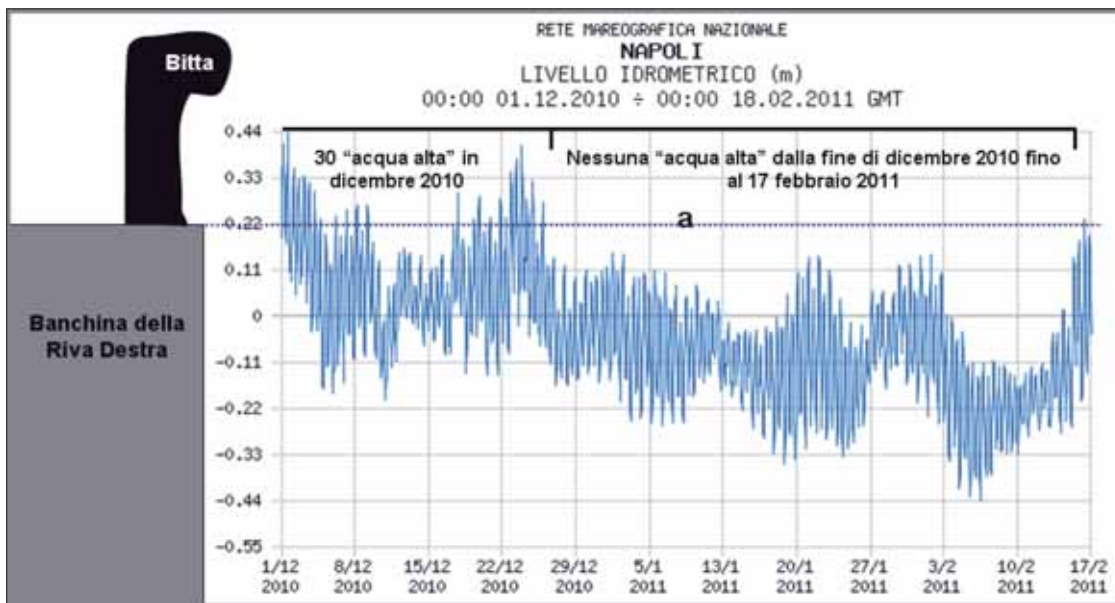


Figura 5: Modificazioni del livello marino tra dicembre 2010 e il 17 febbraio 2011. La linea blu tratteggiata (a) indica la quota al di sopra della quale si determina l'invasione lenta della banchina della Riva Destra del Porto d'Ischia. È evidente che durante dicembre 2010 si è avuto in prevalenza un livello medio marino alto, al di sopra dello zero idrometrico, che ha favorito l'ulteriore sollevamento durante il transito delle perturbazioni e 30 fenomeni di acqua alta con parziale sommersione lenta delle banchine basse del porto di Ischia. Dalla fine di dicembre 2010 si è avuto un lungo periodo con livello marino basso prevalentemente al di sotto dello zero idrometrico in corrispondenza di condizioni di generale alta pressione prolungata sul bacino mediterraneo.

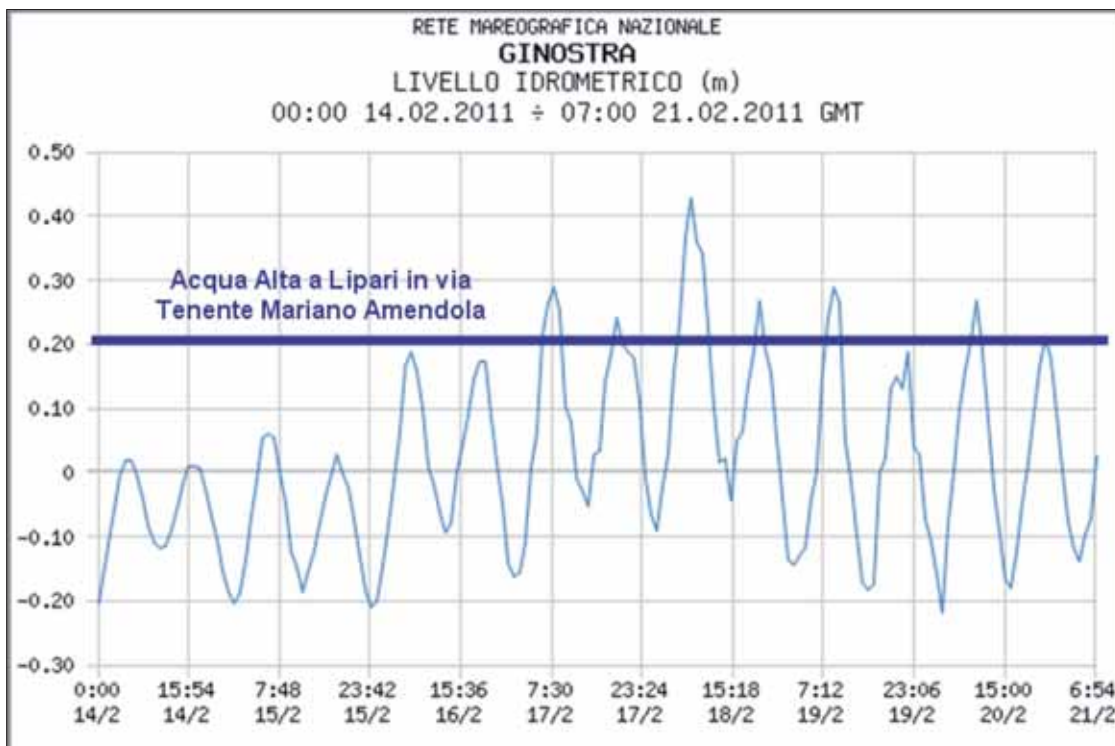


Figura 6: Evidenza del sollevamento del livello marino tra il 17 e il 21 febbraio 2011, registrato dal mareografo di Ginostra, che ha determinato per 7 volte l'invasione della parte bassa di via Tenente Mariano Amendola di Lipari.

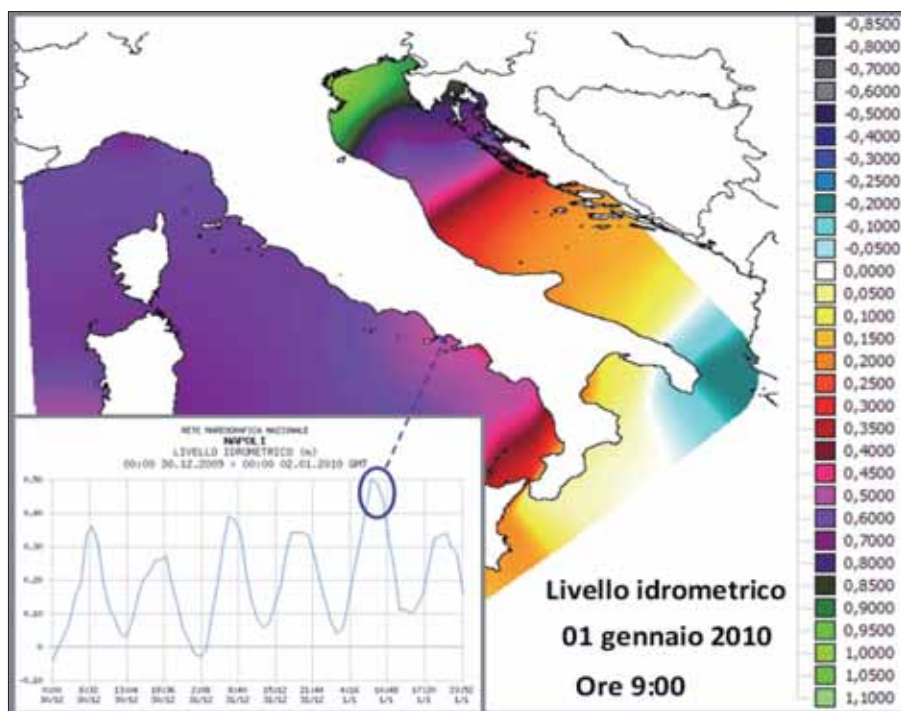


Figura 7: L'eccezionale acqua alta di Ischia del 1 gennaio 2010 (circa 50 cm al di sopra dello zero idrometrico) durante un periodo di prolungato livello marino alto.

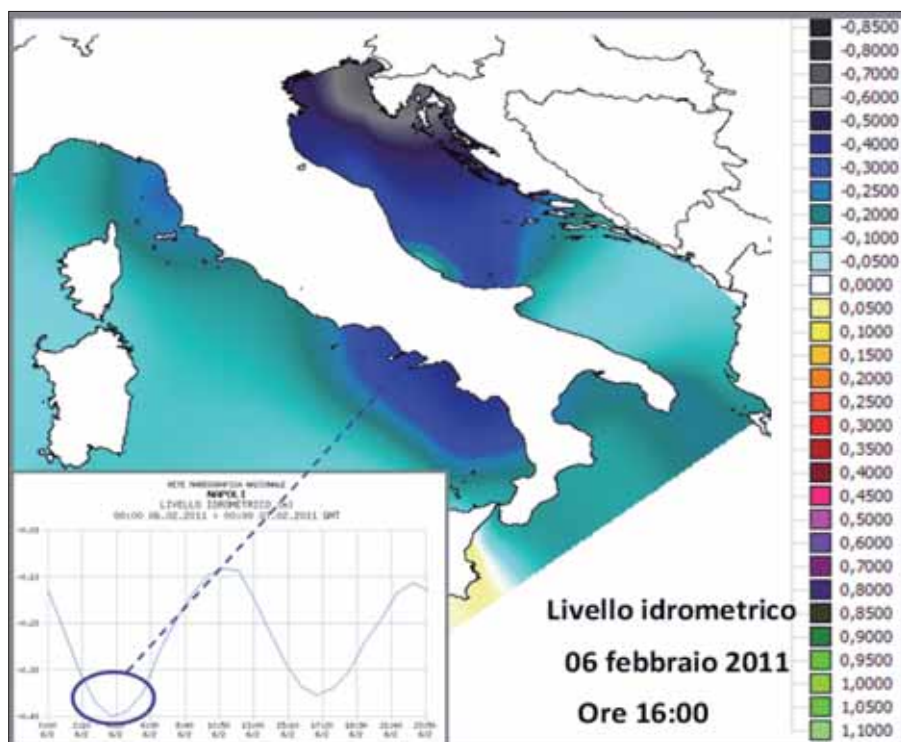


Figura 8: L'eccezionale acqua bassa del 6 febbraio 2011 durante un periodo di prolungato livello marino basso che ha interessato tutti i mari italiani dalla fine di dicembre 2010.

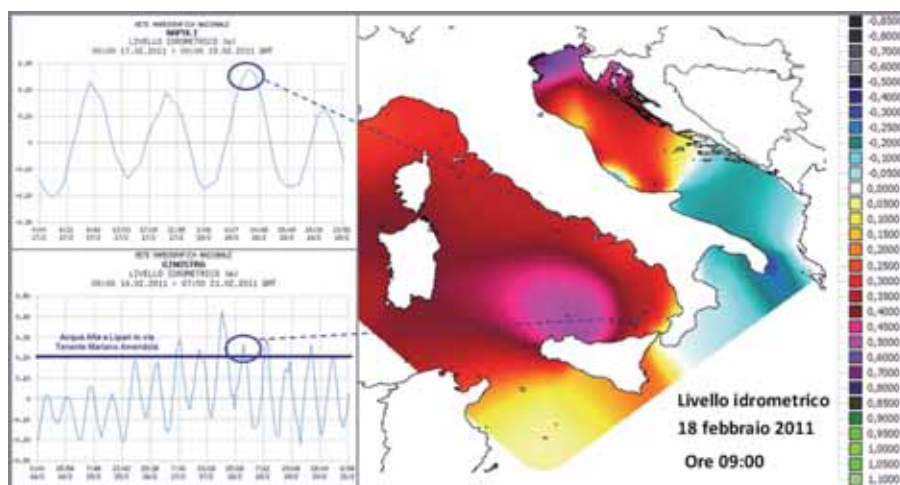


Figura 9: L'acqua alta del 18 febbraio nell'ambito del periodo compreso tra il 17 e 21 febbraio 2011 registrata dai mareografi di Napoli e Ginostra.

mezzo di livello marino quasi sempre al di sotto dello zero idrometrico (figura 5) in corrispondenza di un lungo periodo di alta pressione atmosferica su quasi tutto il Mediterraneo.

Nel mese di dicembre 2010 il livello marino è stato generalmente alto (in relazione a prolungate e differenti condizioni di pressione atmosferica tra il Mediterraneo orientale e quello centro occidentale) causando per 30 volte, durante le alte maree, la sommersione parziale della banchina.

Tale fenomeno è stato registrato anche a Lipari nella parte bassa di Via Tenente Mariano Amendola anche nei giorni compresi tra il 17 e 21 febbraio 2011 come si evince dalla figura 6.

Tra i dati acquisiti con le ricerche in corso presso il Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio dell'Università Federico II si evidenzia l'elaborazione di cartografie tematiche che consentono la visualizzazione oraria dell'evoluzione del livello marino dei mari italiani, e di parte del restante Mediterraneo, utilizzando i dati provenienti dalle stazioni mareografiche ufficiali. I dati sono stati elaborati con un algoritmo e un software appropriato.

Con l'utilizzo di una scala cromatica sono stati differenziati diversi valori del livello di marea per rendere più immediata la comprensione delle differenze altimetriche del livello marino tra le varie località (figure 7, 8, 9).

La ricerca sul fenomeno dell'acqua alta che si verifica ad Ischia in Via Iasolino e in Riva Destra ha evidenziato che durante il 2009 si sono verificate 87 invasioni delle banchine basse di Ischia Porto da parte dell'acqua marina durante le alte maree. Durante il 2010 i fenomeni di acqua alta ad Ischia sono stati 135.

Le banchine basse di Ischia e la parte bassa di via Mariano Amendola di Lipari non sono in sicurezza ed i fenomeni di invasione da parte dell'acqua marina sono in aumento per cui è necessario eseguire adeguati interventi strutturali che possono prevedere sistemazioni definitive quali il sollevamento artifi-

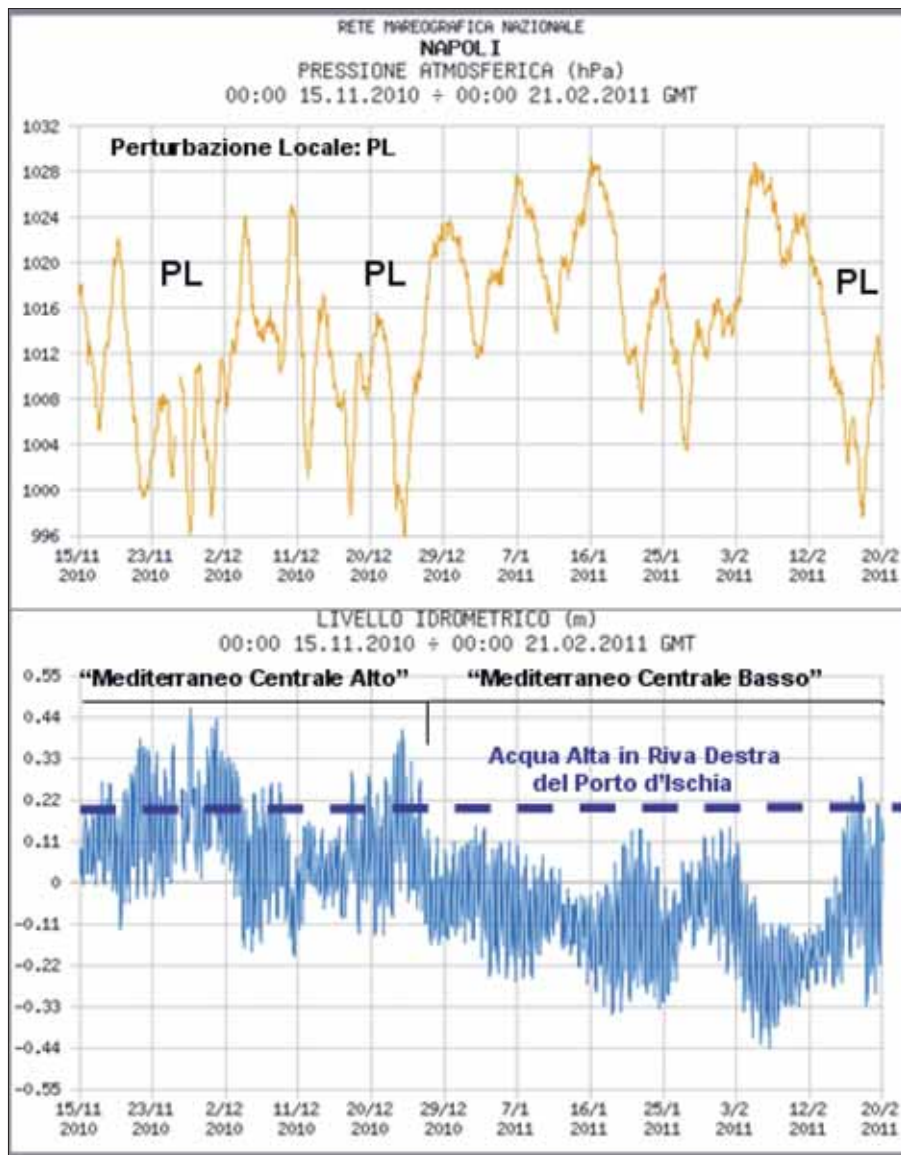


Figura 10: Relazioni tra gli spostamenti verticali lenti del livello del mare e variazioni della pressione atmosferica in concomitanza con il transito di perturbazioni. Sono evidenti i periodi caratterizzati da un livello marino alto e da un livello marino basso prolungati.

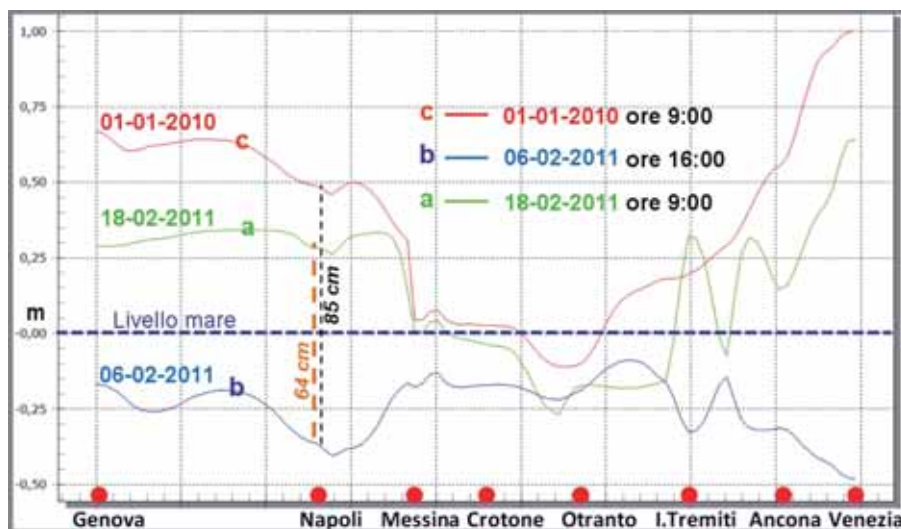


Figura 11: Evidenza dei recenti sensibili spostamenti verticali del livello marino nei mari italiani. Sono riportati i livelli marini del 1 gennaio 2010 (acqua alta eccezionale nel Mar Tirreno e mar Ligure), del 6 febbraio 2011 (acqua bassa in tutti i mari italiani) e del 18 febbraio 2011 quando si è verificato il sollevamento del livello marino (per alcuni giorni, nell'ambito di un lungo periodo di basso livello marino generale) in concomitanza con il transito di una perturbazione atmosferica e della massima influenza del ciclo lunare.

ziale del piano campagna con l'adeguamento strutturale degli edifici e dei sottoservizi e interventi transitori che garantiscano l'isolamento dal mare durante le fasi di acqua alta e l'evacuazione dell'acqua di ruscellamento ed eventualmente di falda durante i periodi in cui si verificano eventi piovosi.

Il monitoraggio del livello marino lungo i mari italiani e del Mediterraneo consente di individuare i periodi di breve e lunga durata nell'ambito dei quali il sollevamento generale del livello dei mari italiani può accentuare l'ulteriore incremento verticale anche in sinergia con il ciclo lunare ed il transito delle perturbazioni (figura 10).

La ricerca ha evidenziato che il sollevamento eccezionale prolungato del livello marino dei mari italiani (vedi il grafico relativo all'acqua alta eccezionale del 1 gennaio 2010 in figura 11) è prevedibile e visualizzabile su carte tematiche in tempo reale come pure sono prevedibili eventuali fenomeni concomitanti quali gli effetti del ciclo lunare, del transito di significative perturbazioni atmosferiche, delle forti mareggiate e degli eventi piovosi in bacini idrografici.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONIOLI F. (2003), *Vulnerabilità delle coste italiane: rischio di allagamento da parte del mare*. In "la risposta al cambiamento climatico in Italia", ed. Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio, 17-21.
- BUONOMO V., MAZZARELLA A., ORTOLANI F., PAGLIUCA S., SAMMARTINO M., TOPPI V. (2007), *Relazioni tra cambiamento climatico, dissesti e rischi idrogeologici*. Workshop Nazionale sui cambiamenti climatici e dissesto idrogeologico: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento, Napoli, 9-10 luglio, 2007, Arpa Campania ambiente n.5 agosto-settembre 2007.
- CAZENAVE A. & NEREM R.S. (2004), *Present-day sea level change: observations and causes*. Reviews of Geophysics, 42(3).
- CHURCH J.A., WHITE N.J., COLEMAN R., LAMBECK K., MITROVICA J.X. (2004), *Estimates of the regional distribution of sea level rise over the 1950 to 2000 period*, J. Climate 17 2609–2625.
- MAZZARELLA A. & PALUMBO A. (1991), *Effect of sea level time variations on the occurrence of extreme storm surges: an application to Northern Adriatic Sea*, Boll. Ocean. Teor. Appl., 9, 33-38, 1991.
- PALUMBO A. & MAZZARELLA A. (1985), *Internal and external sources of mean sea level variations*. J. Geoph. Res., 90, 7075-7086, 1985.
- PALUMBO A. & MAZZARELLA A. (1985), *Seasonal cycle of mean sea level*. Il Nuovo Cimento, 8C, 273-281, 1985.
- SERPELLONI E., CASULA G., GALVANI A., ANZIDEI M., BALDI P. (2006), *Data analysis of permanent GPS networks in Italy and surrounding regions: application of a distributed processing approach*. Annals of Geophysics, Vol. 49, N 4/5, August/October.
- STUDI COSTIERI (2006), *Lo stato dei litorali italiani*. G. Naz. per la Ricerca dell'Ambiente Costiero, 10, 174 pp.

Sprofondamenti connessi a cavità di origine antropica in Puglia

ANTONELLO FIORE
Autorità di Bacino della Puglia, Bari
e-mail: antonello.fiore@adb.puglia.it

MARIO PARISE
CNR IRPI, Bari
e-mail: m.parise@ba.irpi.cnr.it

RIASSUNTO

L'elevato numero di cavità di origine antropica in Puglia è all'origine dei numerosi eventi di sprofondamento che interessano periodicamente, e con frequenza crescente negli ultimi anni, i centri abitati del territorio regionale, e le relative aree periferiche. Anche se la tipologia delle cavità antropiche risulta estremamente varia, gran parte dei dissesti è attribuibile a cave sotterranee, scavate in genere a partire dai primi decenni del secolo scorso per l'estrazione delle rocce calcarenitiche, diffusamente utilizzate come materiale da costruzione. Il presente lavoro descrive i principali eventi per i quali è stata reperita documentazione, evidenziando la necessità di dedicare a questo tipo di dissesto idrogeologico una particolare attenzione, al fine di mitigare i rischi da esso derivanti.

Il territorio della Regione Puglia presenta un elevato numero di cavità scavate dall'uomo nel sottosuolo, in epoche diverse e con finalità estremamente diversificate: da semplici spazi utili per le attività agropastorali quali depositi per derrate alimentari, fosse granarie, cantine e frantoi, a luoghi di culto di notevole importanza storico-archeologica, a veri e propri insediamenti civili, sino a cave e miniere di notevole estensione. Nell'insieme, il sottosuolo pugliese è intensamente caratterizzato da cavità ipogee, per gran parte delle quali si è persa nel tempo

la memoria storica, e di cui pertanto non si conosce l'esatta localizzazione, né tantomeno lo sviluppo plano-altimetrico, le geometrie e le condizioni di degrado e/o di instabilità dei materiali. Tutto ciò è all'origine della maggior parte degli eventi di sprofondamento (*sinkhole*) che periodicamente avvengono in Puglia sia nelle aree urbanizzate che nelle periferie dei grandi centri abitati.

Dal punto di vista della privata e pubblica incolumità, gli sprofondamenti connessi a cavità antropiche pongono certamente maggiori problemi rispetto a quelli da cavità naturali: le cavità antropiche, sin dall'antichità, hanno sempre avuto un forte collegamento con le attività umane sia di tipo episodico che stanziale. Esse si rinvergono nella maggior parte dei casi al di sotto dei centri urbani, o in prossimità di questi ultimi, per cui eventuali evoluzioni e modifiche strutturali che le interessino mettono quasi sempre a rischio anche l'ambiente antropizzato. Allorquando poi la presenza delle cavità si è perduta nel tempo e in più non è stata garantita una manutenzione, una adeguata ventilazione o un

monitoraggio di tipo visivo in grado di registrare e segnalare eventuali situazioni di pericolo quali crolli o stillicidio di acqua, molte aree oggetto di scavi sotterranei che una volta erano periferiche sono state inglobate dall'espansione urbanista poco accorta degli ultimi decenni all'interno del tessuto urbano; ciò ha inevitabilmente portato a costruire, talora inconsapevolmente, ma talvolta con grave consapevolezza, al di sopra di vuoti sotterranei, con conseguenze di frequente gravi (Fig. 1).

Le oggettive difficoltà di accessibilità alle cavità antropiche pongono la necessità di definire criteri tecnico-scientifici *ad hoc* per l'analisi del problema, a partire dalla localizzazione delle cavità, la misurazione delle relative geometrie, nonché di elementi quali pilastri, setti e calotte, i rilievi geologico-strutturali, la valutazione della effettiva pericolosità per l'ambiente antropizzato, sino alla scelta degli eventuali interventi da realizzare, tanto nella fase di emergenza che in quella di prevenzione a medio-lungo termine.

In Puglia, oltre a casi ben noti come quelli di Canosa di Puglia e di Andria, che nel corso

Figura 1 – Pali di fondazione all'interno di cave sotterranee ad Altamura (foto: archivio CARS-Apogeo). Da notare, nella foto b), la frattura in volta, presumibilmente causata dalla realizzazione del palo.





Figura 2 – Crollo di una parete divisoria tra ambienti di cava sotterranea a Cutrofiano, in provincia di Lecce.

degli anni '70 e '80 causarono anche alcune vittime, praticamente quasi tutte le cittadine pugliesi risultano interessate dalla presenza di cavità, sia naturali che antropiche. Si tratta quindi di un pericolo estremamente diffuso, e troppo spesso sottovalutato rispetto ad altri eventi di dissesto idrogeologico, quali ad esempio le frane o le alluvioni. Questa situazione di diffuso pericolo fu evidenziata alcuni anni orsono anche dai dati derivanti dai progetti "Rischio Cavità" e "Progetto *Sinkholes*", svolti a cura del Dipartimento della Protezione Civile (CORAZZA, 2004): l'analisi preliminare del quadro conoscitivo emerso mostrava infatti come i fenomeni dovuti a cavità antropiche fossero nettamente prevalenti sul territorio nazionale rispetto a quelli dovuti a cavità di origine naturale (794 casi contro 215). La Puglia, in particolare, risultava tra le regioni maggiormente interessate dai fenomeni di sprofondamento, con 92 casi di dissesto, 58 dei quali imputabili a cavità antropiche e 34 a cavità di origine naturale.

A partire dai primi anni del terzo millennio, a seguito di numerosi eventi avvenuti nel territorio regionale pugliese, l'attenzione si è particolarmente soffermata sui fenomeni di *sinkhole*, che sono stati oggetto di varie iniziative, sia a carattere amministrativo e di gestione e pianificazione territoriale, che da parte della comunità scientifica. Le Autorità di Bacino competenti (AdB Puglia e, per parte

del territorio al confine con la Basilicata, AdB Basilicata) hanno emesso, rispettivamente, in data 25 luglio 2006 un "Atto di indirizzo per la messa in sicurezza dei territori a rischio cavità sotterranee", e, in data 25 febbraio 2008, la delibera "Direttiva per la gestione e messa in sicurezza delle aree interessate da cavità sotterranee". In tali documenti venivano elencate le procedure da seguire per interventi in aree a pericolosità geomorfologica per presenza di cavità sotterranee, indicando al contempo anche le analisi da eseguire per la completa caratterizzazione geologica e geotecnica dei siti (FIORE, 2006; FIORE & LANZINI, 2007; CAGGIANO *et alii*, 2007, 2008a, b; BERARDI *et alii*, 2010). Successivamente, l'Autorità di Bacino della Puglia ha avviato uno specifico progetto sulle cavità antropiche, a cura del CNR-IRPI (BARNABA *et alii*, 2010).

La Puglia, al pari di molte altre regioni italiane, presenta una estrema varietà di tipologie di cavità artificiali, da mettere in relazione alle varie vicende storiche ed urbanistiche che si sono succedute nel corso delle epoche. Alcune tipologie risultano più frequenti di altre, ad esempio le opere insediative civili che caratterizzano i tantissimi insediamenti rupestri, distribuiti sull'intera regione (FONSECA, 1970, 1980; FONSECA *et alii*, 1979; LAUREANO, 1993, 1995), i diffusissimi luoghi di culto nelle gravine dell'arco ionico tarantino (FONSECA, 1980, 1991; FALLA CASTEL-

FRANCHI, 1991; DELL'AQUILA & MESSINA, 1998), le opere idrauliche (MARANÒ, 2006; PARISE, 2007, 2009; PARISE *et alii*, 2009) o, infine, gli opifici sotterranei tipici di alcuni settori della regione (i frantoi ipogei del Salento; REGIONE PUGLIA, 1993; MONTE, 1995; STENDARDO, 1995; DE MARCO *et alii*, 2004).

È interessante notare come alcune aree del territorio regionale, in genere non considerate suscettibili a problemi di *sinkhole*, presentino in realtà alcuni eventi che, significativamente, pongono anch'esse all'attenzione per sprofondamenti connessi a cavità antropiche. I centri abitati del Sub-Appennino Dauno, ad esempio, non sono caratterizzati da presenza delle litologie che usualmente si prestano a scavi da parte dell'uomo, vale a dire le calcareniti Plio-Pleistoceniche. Ciò nonostante, le formazioni flyschoidi presenti in zona, ed in particolare i membri arenaceo-conglomeratici, sono stati oggetto di scavo per la realizzazione di cantine, depositi, e luoghi dove conservare derrate alimentari. In alcuni abitati, come San Marco La Catola e Sant'Agata di Puglia (PARISE & WASOWSKI, 2001), tali ipogei sono talmente diffusi da avere ripetutamente creato problemi di stabilità a numerose arterie stradali, come testimoniato dai ripetuti sopralluoghi di protezione civile eseguiti nel corso degli anni dai tecnici del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche).

Una delle tipologie maggiormente diffuse è poi quella delle cave sotterranee. Era infatti frequente in Puglia l'estrazione di materiali da costruzione dal sottosuolo, spesso con realizzazione di sistemi caveali che si estendevano per svariati chilometri di lunghezza. La scelta dell'attività estrattiva in sottoterraneo derivava dalle locali condizioni geologiche e morfologiche (DEL PRETE & PARISE, 2007), con i litotipi di interesse non affioranti ma presenti a una certa profondità, ed era inoltre ulteriormente motivata dalla necessità di conservare l'utilizzo agricolo dei terreni, in territori in cui la produzione agricola costituiva il principale sostentamento (PARISE, 2010, 2011).

Le situazioni di maggiore interesse in relazione a eventi di sprofondamento derivano, in particolare, dalla presenza di cave sotterranee, molto diffuse nei litotipi di copertura del substrato calcareo Mesozoico, costituiti da rocce calcarenitiche plio-pleistoceniche. Sono proprio le calcareniti, infatti, a essere l'oggetto dell'attività estrattiva ipogea, mediante la realizzazione di complessi sistemi di gallerie, talvolta molto regolari (Cutrofiano, Canosa di Puglia, Barletta), talaltra più disordinati e complessi (Gallipoli, Gagliano del Capo, Altamura). Specialmente allorché le cave sono localizzate a piccola profondità (entro i primi 10 m dalla superficie) l'evoluzione per dissesti da volta e pareti degli ambienti ipogei (Fig. 2) può progredire verso l'alto, sino a determinare lo sviluppo di un *sinkhole*. Tali fenomeni sono chiaramente favoriti da processi di alterazione progressiva nell'ammasso roccioso calcarenitico, indotti dalle particolari condizioni microclimatiche dei siti, dalle perdite delle reti idriche e fognanti, da eventuali scarichi di liquami nelle cave sotterranee, e da azioni antropiche in superficie (vibrazioni causate dal traffico e/o da lavori di costruzione fabbricati, scavi, dalla realizzazione di trincee per la realizzazione di sottoservizi, ecc.; Fig. 3).

Una approfondita ricerca storica e bibliografica ha consentito la raccolta di informazioni su 40 eventi di sprofondamento connessi

alla presenza di cavità sotterranee di origine antropica. Tali eventi coprono un arco temporale che va dai primi decenni del novecento ai giorni nostri, con un netto incremento negli ultimi 5 anni (il 36% degli eventi). Va detto che gli eventi individuati, per i quali non è sempre stato possibile risalire ad una data completa (giorno, mese, anno), rappresentano certamente solo una parte di quelli effettivamente avvenuti. Numerose sono le motivazioni che giustificano la difficoltà nel reperire dati sui *sinkhole*: dalla riluttanza dei proprietari dei terreni nel denunciare tali eventi, per timore di deprezzamento della proprietà, o dell'essere obbligati a realizzare i necessari lavori di risanamento, alla nota mancanza di specifici archivi sui dissesti idrogeologici da parte delle amministrazioni competenti. Ciò nondimeno, i 40 eventi per i quali si è riusciti a trovare documentazione testimoniano la frequenza degli eventi di *sinkhole*, la distribuzione spaziale che copre l'intero territorio regionale, e i danni che derivano alla società civile a causa del verificarsi di questi fenomeni.

Nel dettaglio, la prima parte dei *sinkhole* riportati in Tab. 1 si riferisce nella quasi totalità dei casi a eventi che hanno interessato le città di Canosa di Puglia (SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.P.A., 1989; CHERUBINI *et alii*, 1993) e Andria. Solo a partire dagli anni '90 si trova documentazione relativa a casi di *sinkhole* avvenuti in altre zone del territorio regionale, da San Marco La Catola, a Grottaglie, a Capurso. Particolare attenzione destò ad esempio il caso di Grottaglie, allorché l'11 novembre 1995 si verificò il crollo di una porzione della volta di un frantoio ipogeo adibito a laboratorio per la produzione di ceramica, che provocò il ferimento di due persone. Una situazione molto diffusa nella cittadina in provincia di Taranto, dove sono numerose le attività lavorative che si svolgono in ambienti ipogei, specialmente nel Quartiere delle Ceramiche.

A partire dal 2006 sono avvenuti sprofondamenti nei territori di varie cittadine pugliesi, in molti casi anche all'interno di aree urbane, come ad Altamura nella zona di San

Tommaso, dove sono presenti numerose cave sotterranee di calcareniti. Alcune cave erano note sin dal 1992, grazie alle esplorazioni del Centro Altamurano Ricerche Speleologiche (MARTIMUCCI *et alii*, 2010), ma solo dopo i primi dissesti furono avviati rilievi sistematici delle stesse, anche mediante l'adozione di nuove tecniche per l'accesso in sicurezza alle cavità (BERARDI *et alii*, 2010; SPILOTRO *et alii*, 2010).

Uno dei casi più eclatanti, che ha maggiormente richiamato l'attenzione dell'opinione pubblica, è quello avvenuto a Gallipoli il 27 marzo 2007 (DELLE ROSE, 2007; PARISE & DELLE ROSE, 2009), con l'apertura di una voragine (poi ampliata a causa di poco felici interventi di colmamento con materiali inerti) in Via Firenze, per il crollo della volta di una delle numerose cave sotterranee presenti nell'area. Fortunatamente, la voragine lambì soltanto alcune palazzine per civile abitazione, e non si registrarono vittime, ma va detto che già da diversi anni erano state denunciate situazioni di pericolo per le condizioni di instabilità osservate nelle cave sotterranee di Gallipoli (FIORITO & ONORATO, 2004).

Altro distretto estrattivo di grande importanza è quello di Cutrofiano, in Salento, dove svariate decine di chilometri di gallerie sono state scavate, prima manualmente e poi meccanicamente nel sottosuolo, a profondità variabili tra i 7-10 m e i 40 m (TONI & QUARTULLI, 1986; TONI, 1990). Vari eventi di *sinkhole* sono stati registrati, sino a quelli più recenti che minacciano ancora oggi le principali arterie stradali che collegano Cutrofiano agli altri centri abitati siti più a sud (PARISE *et alii*, 2008; DE PASCALIS *et alii*, 2010).

Tra i casi più recenti da ricordare, l'evento di maggiori dimensioni è avvenuto in agro di Barletta, anche qui per il crollo della volta di una antica cava sotterranea, della quale si era persa memoria (DE GIOVANNI *et alii*, 2011).

In definitiva, emerge dal presente studio un quadro certamente poco rassicurante dei fenomeni di *sinkhole* connessi a cavità antropiche in Puglia: la diffusione di cavità scavate dall'uomo è talmente elevata che si può affer-



Figura 3 – Evidenze di sottoservizi, dall'interno di cavità artificiali al di sotto del centro abitato di Gravina in Puglia.

Tabella 1 – Elenco dei casi di sprofondamento connessi a cavità antropiche in Puglia.

n.	data	luogo	provincia	tipologia cavità
1	1925	Canosa di Puglia	BAT	cava sotterranea
2	1947	Altamura	BA	cava sotterranea
3	08 Marzo 1955	Canosa di Puglia	BAT	cava sotterranea
4	Luglio 1956	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
5	08 Aprile 1957	Canosa di Puglia	BAT	cava sotterranea
6	Maggio-Giugno 1957	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
7	27 Novembre 1959	Andria	BAT	cava sotterranea (?)
8	03 Febbraio 1972	Andria	BAT	cava sotterranea
9	13-14 Ottobre 1972	Andria	BAT	cava sotterranea
10	11 Dicembre 1972	Andria	BAT	cava sotterranea (?)
11	03 Gennaio 1973	Andria	BAT	?
12	21 Luglio 1973	Andria	BAT	cava sotterranea (?)
13	05 Maggio 1974	Andria	BAT	cava sotterranea (?)
14	05 (?) Febbraio 1979	Andria	BAT	?
15	20 Febbraio 1980	Andria	BAT	cava sotterranea (?)
16	prima di Aprile 1985	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
17	1986	Canosa di Puglia	BAT	cava sotterranea
18	04 Maggio 1990	Canosa di Puglia	BAT	cava sotterranea
19	20 Dicembre 1992	S. Marco La Catola	FG	cantina-deposito
20	11 Novembre 1995	Grottaglie	TA	frantoio ipogeo
21	Febbraio 1996	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
22	24 Gennaio 1997	Capurso	BA	
23	1998	S. Marco La Catola	FG	cantina-deposito
24	05 Settembre 1999	Canosa di Puglia	BAT	cava sotterranea
25	16 Giugno 2000	Sant'Agata di Puglia	FG	cantina-deposito
26	03 Ottobre 2000	Sant'Agata di Puglia	FG	cantina-deposito
27	Marzo 2006	Altamura	BA	cava sotterranea
28	Aprile 2006	Candela	FG	cantina-deposito
29	29 Marzo 2007	Gallipoli	LE	cava sotterranea
30	05 Maggio 2007	Gallipoli	LE	?
31	07 Maggio 2007	Altamura	BA	cava sotterranea
32	12 Febbraio 2008	Lequile	LE	?
33	15 Luglio 2008	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
34	03 Dicembre 2008	Altamura	BA	cava sotterranea
35	Febbraio 2009	Ginosa in Puglia	TA	cava sotterranea
36	Marzo 2010	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
37	03 Maggio 2010	Barletta	BAT	cava sotterranea
38	Maggio 2010	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
39	Ottobre 2010	Cutrofiano	LE	cava sotterranea
40	Novembre 2010	Gallipoli	LE	cava sotterranea

mare che sono ben poche le aree del territorio regionale dove non se ne registri la presenza. Se poi a queste si aggiungono le oltre 2000 cavità carsiche, di origine naturale, si comprende come la Puglia debba necessariamente dedicare maggiore attenzione e risorse allo studio delle cavità esistenti sul territorio regionale, alla valutazione della possibilità di dissesti al loro interno, e di ripercussioni in superficie, e alle interazioni che tali cavità possono avere con l'ambiente antropizzato e le infrastrutture esistenti. Una gestione del territorio che non tenga nel debito conto tali

aspetti risulterà certamente insufficiente, e contribuirà a rendere vulnerabili, e quindi potenzialmente coinvolti in danni, ampi settori della regione Puglia (FIORE *et alii*, 2011b).

In particolare, sarebbero da approfondire alcuni aspetti fondamentali relativi ai *sinkhole* connessi a cavità antropiche, vale a dire:

- la esatta localizzazione e geometria delle cavità e le loro condizioni reali di stabilità, anche in connessione ai fenomeni di alterazione che, nel tempo, determinano la significativa riduzione delle caratteristiche di resistenza meccanica degli ammassi

rocciosi calcarenitici (ZUPAN HAJNA, 2003; ANDRIANI, 2006);

- la modellazione numerica dei fenomeni di instabilità osservati nel sottosuolo, la cui propagazione progressiva verso l'alto può determinare la formazione di veri e propri *sinkhole* (WALTHAM & LU, 2007; LOLLINO & PARISE, 2010; PARISE & LOLLINO, 2011);
- la valorizzazione delle cavità artificiali di maggiore valenza storico-architettonica e/o geologica (FIORE *et alii*, 2010a), anche grazie ai recenti sviluppi della normativa regionale in materia.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRIANI G.F. (2006), *Considerazioni sugli effetti del weathering in rocce calcarenitiche utilizzate per manufatti di interesse storico e architettonico*. Atti Convegno "Le risorse lapidee dall'antichità ad oggi in area Mediterranea", Canosa di Puglia, GEAM, 233-238.
- BARNABA F., CAGGIANO T., CASTORANI A., DELLE ROSE M., DI SANTO A.R., DRAGONE V., FIORE A., LIMONI P.P., PARISE M., SANTALOIA F. (2010), *Sprofondamenti connessi a cavità antropiche nella regione Puglia*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 653-672.
- BERARDI C., BUONAMASSA G., DENORA A., FIORE A., LORUSSO G., PEPE P., WALSH N., ZACCARIA V. (2010), *Attività di censimento per la pianificazione nelle aree interessate da cavità antropiche. Il Catasto delle Cavità Sotterranee (CCS) di Altamura (BA). Un modello litotecnico e di comportamento previsionale*. 2° Workshop Int. "Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009, 673-683.
- CAGGIANO T., DI SANTO A.R., FIORE A., PALUMBO N. (2007), *Attività dell'Autorità di Bacino della Puglia per l'individuazione, il censimento e la pianificazione degli interventi per la messa in sicurezza dei territori a rischio sprofondamento per la presenza di cavità sotterranee*. Geologi & Territorio, **4-2006/1-2007**, 32-34.
- CAGGIANO T., FIORE A., PALERMO M.T. (2008a), *Indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione ed all'attivazione della rete di monitoraggio delle aree in dissesto connesso alla presenza di cavità antropiche nei pressi di via Firenze nell'abitato del Comune di Gallipoli (LE)*. Fondi Por-Puglia 2000-2006.
- CAGGIANO T., FIORE A., PELLEGRINO R. (2008b), *Indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione ed all'attivazione della rete di monitoraggio delle aree in dissesto connesso alla presenza di cavità antropiche in località "Fornaci-Chiancone" nell'abitato del Comune di Altamura (BA)*. Fondi Por-Puglia 2000-2006.
- CHERUBINI C., GERMINARIO S., PAGLIARULO R., RAMUNNI F.F. (1993), *Caratterizzazione geomecanica delle calcareniti di Canosa in relazione alla stabilità degli ipogei*. Atti I Conv. Naz. "Le pietre da costruzione in Puglia: il Tufo Calcarea e la Pietra Leccese", Bari, 221-230.
- CORAZZA A. (2004), *Il rischio di fenomeni di sprofondamento in Italia: le attività del Dipartimento della Protezione Civile*. Atti 1° Seminario "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", Roma, 20-21 Maggio 2004, 319-330.
- DE GIOVANNI A., MARTIMUCCI V., MARZULLI M., PARISE M., PENTIMONE N., SPORTELLI D. (2011), *Operazioni di rilievo e analisi preliminare dello sprofondamento in località San Procopio (Barletta, 2-3 maggio 2010)*. VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, 1/2, 151-158.
- DELL'AQUILA F., MESSINA A. (1998), *Le chiese rupestri di Puglia e Basilicata*. Mario Adda editore, Bari, 277 pp.
- DELLE ROSE M. (2007), *La voragine di Gallipoli e le attività di Protezione Civile dell'IRPI-CNR*. Geologi e Territorio, **4/2006-1/2007**, 3-12.
- DEL PRETE S., PARISE M. (2007), *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*. Opera Ipogea, **2**, 3-16.
- DE MARCO M., FUCCIO M., SANNICOLA G.C. (2004), *Archeologia industriale: i frantoi ipogei nel territorio di Grottaglie (Taranto, Puglia)*. Grotte e Dintorni, **8**, 25-44.
- DE PASCALIS A., DE PASCALIS F., PARISE M. (2010), *Genesi ed evoluzione di un sinkhole connesso a cavità antropiche sotterranee nel distretto estrattivo di Cutrofiano (prov. Lecce, Puglia)*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 703-718.
- FALLA CASTELFRANCHI M. (1991), *Pittura monumentale bizantina in Puglia*. Milano.
- FIORE A. (2006), *Pericolosità geologica connessa alla presenza di cavità sotterranee. Atto di indirizzo dell'Autorità di Bacino della Puglia*. Geologi & Territorio, **1-2-3**, 3-11.
- FIORE A., LANZINI M. (2007), *Problematiche di valutazione del rischio di crollo di cavità sotterranee*. Geologi & Territorio, **4-2006/1-2007**, 35-45.
- FIORE A., MARTIMUCCI V., PARISE M. (2011a), *Nuove opportunità per la conservazione e valorizzazione delle cavità artificiali in Puglia*. VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, 1/2, 187-192.
- FIORE A., PARISE M., STEFANELLI D. (2011b), *Le cavità artificiali in Puglia nell'adeguamento dei nuovi strumenti urbanistici alla pianificazione stralcio di bacino*. VII Convegno Naz. Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, 1/2, 187-192.
- FIORITO F., ONORATO R. (2004), *Le cave ipogee di Colle S. Lazzaro - Gallipoli. Primi studi*. Atti Spelaion 2004, Lecce, 10-12 dicembre 2004, 125-136.
- FONSECA C.D. (1970), *Civiltà rupestre in terra ionica*. Ed. Bestetti, Roma.
- FONSECA C.D. (1980), *La civiltà rupestre in Puglia*. In: AA.VV., *La Puglia tra Bisanzio e l'Occidente*, 36-116. Milano.
- FONSECA C.D. (1991), *Le grotte della civiltà rupestre*. Itinerari Speleologici, **5**, 13-25.
- FONSECA C.D., BRUNO A.R., INGROSSO V., MAROTTA A. (1979), *Gli insediamenti rupestri medioevali nel Basso Salento*. Congedo Ed., Galatina, 351 pp.
- LAUREANO P. (1993), *Giardini di pietra*. Bollati Boringhieri, Torino, 199 pp.
- LAUREANO P. (1995), *La piramide rovesciata*. Bollati Boringhieri, Torino, 310 pp.
- LOLLINO P., PARISE M. (2010), *Analisi numerica di processi di instabilità in cavità sotterranee e relativi effetti in superficie*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 803-816.
- MARANO P. (2006), *Il problema acqua a Grottaglie: sistemi di raccolta dell'acqua piovana*. Tesi di Laurea, Univ. Studi di Firenze, Fac. Architettura, Dip. Restauro e Conservazione dei Beni Architettonici, relatore Arch. L. Marino, a.a. 2005-06, 268 pp.
- MARTIMUCCI V., RAGONE G., DENORA A., CRISTALLO F. (2010), *Le cave di tufo di Altamura - Prime relazioni e notizie sulle esplorazioni*. Atti del XII Incontro Regionale di Speleologia "Spelaion 07", Altamura, 7-9 dicembre 2007, 91-102.
- MONTE A. (1995), *Frantoi ipogei del Salento*. Edizioni del Grifo.
- PARISE M. (2007), *Il Progetto "La Carta degli Antichi Acquedotti Italiani"*. Opera Ipogea, **1**, 3-16.
- PARISE M. (2009), *Distribution and characteristics of ancient underground aqueducts in Italy*. IWA Specialty Conference, 2nd Int. Symp. "Water and wastewater technologies in ancient civilizations", Bari, 28-30 May 2009.
- PARISE M. (2010), *The impacts of quarrying in the Apulian karst*. In: CARRASCO F., LA MOREAUX J.W., DURAN VALSERO J.J., ANDREO B. (eds.), *Advances in research in karst media*. Springer, 441-447.
- PARISE M. (2011), *Alcune considerazioni sulle cave sotterranee in Puglia e sulle relative problematiche*. VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, 1/2, 217-224.
- PARISE M., WASOWSKI J. (2002), *Prime considerazioni sui fenomeni di dissesto idrogeologico del giugno-ottobre 2000 nel comprensorio comunale di Sant'Agata di Puglia (prov. di Foggia)*. Atti del Convegno "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive", Roma, 5 giugno 2001, Accademia dei Lincei, **181**, 449-456.
- PARISE M., DELLE ROSE M. (2009), *Sinkhole development induced by underground quarrying, and the related hazard*. Geophysical Research Abstracts, **11**, 214.
- PARISE M., LOLLINO P. (2011), *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy*. Geomorphology, **134**, 132-143.
- PARISE M., DE PASCALIS A., DE PASCALIS F., DONNO G., INGUSCIO S. (2008), *Cavità sotterranee a fini estrattivi, e loro connessione con fenomeni di sprofondamento e subsidenza in agro di Cutrofiano (Lecce)*. Atti "Spelaion 2006", Borgo S. Celano, 55-69.
- PARISE M., BIXIO R., BURRI E., CALOI V., DEL PRETE S., GALEAZZI C., GERMANI C., GUGLIA P., MENEGHINI M., SAMMARCO M. (2009), *The map of ancient underground aqueducts: a nation-wide project by the Italian Speleological Society*. Proc. Int. Congr. Speleology, Kerrville (Texas, USA), 19-26 July 2009, **3**, 2027-2032.
- REGIONE PUGLIA (1993), *Trappeti a grotta di Presicce, Acquarica, Ugento, Felline, Alliste, Racale, Melissano*. Ass. P.I. e Cultura, C.R.S.E.C. LE/45, Ugento, Grafo 7 editrice.
- SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.P.A. (1989), *Interventi urgenti a salvaguardia della pubblica e privata incolumità. Rilevamento cavità sotterranee della città, studi e indagini geognostiche del territorio. Relazione generale*. Com. Canosa di Puglia, 170 pp.
- SPILOTRO G., SPECCHIO V., PEPE P. (2010), *L'evento del 07.05.2007 di Via Barcellona, Altamura. Il contributo del CARS alle strategie d'intervento di valutazione del rischio connesso (Provincia di Bari, Puglia)*. Atti del XII Incontro Regionale di Speleologia "Spelaion 07", Altamura, 7-9 dicembre 2007, 103-107.
- STENDARDO A. (a cura di) (1995), *Presicce sotterranee*. Congedo Ed., Galatina, 153 pp.
- TONI L. (1990), *Le cave in sotterraneo di Cutrofiano*. Edizioni Del Grifo, 125 pp.
- TONI L., QUARTULLI S. (1986), *Coltivazione di calcareniti in sotterraneo nel comune di Cutrofiano (Lecce)*. Quarry and Construction, 23-26.
- WALTHAM T., LU Z. (2007), *Natural and anthropogenic rock collapse over open caves*. In: PARISE M., GUNN J. (eds.), *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: recognition, analysis, and mitigation*. Geol. Society of London, sp. publ., **279**, 13-21.
- ZUPAN HAJNA N. (2003), *Incomplete solution: weathering of cave walls and the production, transport and deposition of carbonate fines*. Carsologica, Postojna-Ljubljana, 167 pp.

L'influenza della piovosità e dell'antropizzazione sulla serie storica delle piene catastrofiche (Calabria sud-occidentale)

OLGA PETRUCCI
CNR-IRPI, COSENZA
e-mail: o.petrucci@irpi.cnr.it

ANGELA AURORA PASQUA
CNR-IRPI, COSENZA

MAURIZIO POLEMIO
CNR-IRPI, Bari

RIASSUNTO

E' stata effettuata una ricerca per ricostruire la serie storica delle piene verificatesi a partire dal XVII secolo in un settore della Calabria sud-occidentale coincidente con il comune di Reggio Calabria. Dei 150 eventi di piena costituenti la serie, il 4% è responsabile di danni alla popolazione, mentre nei restanti casi i danneggiamenti sono a carico di infrastrutture, opere idrauliche ed edilizia. La serie storica è stata analizzata congiuntamente ai dati di pioggia (per il periodo in cui essi sono disponibili) e alle principali modificazioni legate all'incremento demografico dell'area analizzata. Lo scopo è di valutare se la frequenza delle piene responsabili di danni è cambiata durante il periodo analizzato e il ruolo esercitato su tale frequenza dalle piogge e dalle modificazioni antropiche del territorio. L'analisi evidenzia che il trend delle piene in grado di generare danni è in crescita, mentre il trend delle piogge, come osservato anche a scala regionale, è in diminuzione. Al contrario, i trend della popolazione e dell'espansione urbanistica mostrano una crescita, molto marcata negli ultimi decenni. L'incremento delle piene catastrofiche appare, dunque, connesso più alla progressiva urbanizzazione delle aree inondabili che alle modificazioni della piovosità.

1. INTRODUZIONE

Da diversi anni si sta affermando una disciplina nota nella letteratura internazionale come *historical hydrology*. Si tratta di un settore di ricerca che focalizza l'attenzione sui periodi più antichi, per i quali non esistono dati strumentali, con lo scopo di incrementare la lunghezza della serie storica delle piene. In tal modo si costituiscono più solide basi per le elaborazioni statistiche finalizzate all'individuazione dei periodi di ritorno delle piene o alla valutazione della variabilità climatica sulla frequenza delle piene (Brázdil *et al.* 2006). In bacini torrentizi, in cui l'estrema variabilità del flusso idrico impedisce di impiantare stazioni di misura della portata e dunque di raccogliere dati strumentali, l'analisi dei dati storici può rappresentare l'unica strada per far luce sulle piene pregresse, particolarmente

te su quelle che hanno causato danni a beni e/o persone. I dati che si raccolgono hanno carattere qualitativo, ma idoneamente trattati possono essere comparati a dati climatici

per indagare sul trend delle piene (Petrucci e Polemio, 2007; Polemio, 2010).

La nota presenta un caso di studio di analisi comparata della serie storica delle piene

N.	Nome	A (km ²)	L (km)	Q _{max} (m)	S (%)
1	Catona	6	4.6	101	2.2
2	Gallico	38	21.2	1707	8.1
3	Scacciotti	14	6.7	601	8.9
4	Torbido	13	4.8	443	9.2
5	Annunziata	61	18.2	1349	7.4
6	Calopinace	26	12.8	1077	8.3
7	S. Agata	28	11.5	412	3.6
8	Armo	13	6.4	564	8.7
9	Valanidi	15	13.7	1024	7.4
10	Macellari	11	4.5	401	8.9
11	Lume	10	4.5	201	4.4

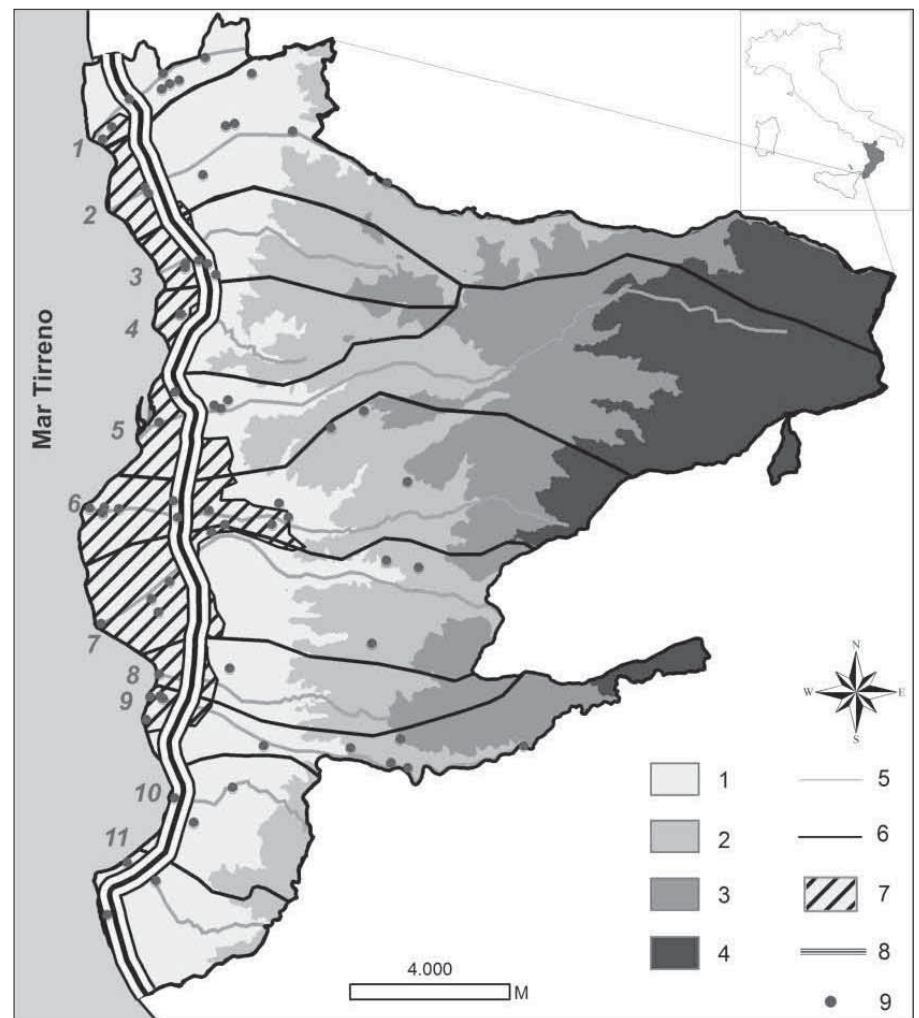


Figura 1 – In alto: le fiumare del comune di Reggio Calabria. N.) numero; A) area del bacino; L) lunghezza dell'asta; Q_{max}) quota massima s.l.m.; S) pendenza dell'alveo. I bacini dal numero 1 al 9 attraversano la città. In basso l'area di studio: il comune di Reggio Calabria. Altitudine: 1) 0-260; 2) 260-610; 3) 610-1030; 4) 1030-1779 m s.l.m. 5) Fiumare denominate come nella tabella. 6) Bacini idrografici; 7) Area urbana; 8) Strada Statale; 9) Aree danneggiate da piene fra il XVII secolo ed il 2010.

e della piovosità in un settore della Calabria sud-occidentale, al fine di verificare l'esistenza di trend nella serie delle piene catastrofiche e di spiegarne i fattori determinanti.

2. IL RISCHIO PIENE NELLE FIUMARE CALABRE

La Calabria è caratterizzata da una morfologia aspra, in cui le aree utilizzabili per l'espansione edilizia sono in prevalenza localizzate lungo le vallate fluviali o nelle strette pianure costiere. I corsi d'acqua, denominati fiumare, presentano carattere torrentizio ed hanno alvei larghi anche più di 1000 m, che restano asciutti per gran parte dell'anno e soltanto nelle piene maggiori impegnano l'intera sezione di deflusso. A causa della migrazione continua dei canali attivi in alveo in funzione delle variazioni della portata, non è possibile installare stazioni di misura di portata. Pertanto, l'analisi della documentazione storica sulle piene pregresse rappresenta l'unico modo per reperire dati, anche se di carattere qualitativo, sugli eventi del passato e gli effetti da essi indotti.

Poiché le piene più devastanti hanno tempi di ritorno che superano il periodo di cui la popolazione locale conserva memoria (40-50 anni al massimo), è facile che la consapevolezza della pericolosità delle fiumare sia spesso blanda, circostanza questa che in parte spiega la progressiva realizzazione di manu-

fatti in aree alluvionabili. A volte si tratta di cascine o capanni per gli attrezzi agricoli, che nel tempo vengono "convertiti" in abitazioni vere e proprie. Si assiste dunque a una variazione del valore dell'elemento posto in una zona vulnerabile: esso diventa una specie di spia rivelatrice delle piene ed incrementa il rischio. In pratica, è possibile che non siano rimaste tracce documentali delle piene che in passato hanno danneggiato cascine o capanni, ma è molto probabile che le piene successive alla loro conversione in abitazioni siano registrate nei documenti storici. Secondo questo meccanismo, l'entità dei danni può crescere anche senza che l'entità delle piogge e delle conseguenti piene aumenti.

3. L'AREA DI STUDIO

Reggio Calabria (236 km²) è la città più grande della Calabria, sia per estensione geografica che per numero di abitanti, pari a circa 185.000.

Il centro abitato, rimodulato dopo il disastroso terremoto del 1908 che distrusse gran parte delle abitazioni, si sviluppa secondo una fascia parallela alla costa tirrenica.

Il clima è mediterraneo, con estati secche ed inverni piovosi. Considerando sei stazioni pluviometriche localizzate all'interno o vicino ai limiti comunali (Arasi, Armo, Gallico, Reggio C., Rosario, Catona e Motta S. Giovanni, comprese fra 10 e 573 m slm) la piovosità

media annua risulta pari a 806 mm e la media dei giorni piovosi è 88. I mesi più piovosi sono novembre, dicembre e gennaio, mentre il più secco è luglio.

Il comune si sviluppa su una pianura alluvionale costruita da undici fiumare, nove delle quali passano attraverso il centro abitato (Fig. 1). Queste fiumare si originano dal rilievo metamorfico paleozoico dell'Aspromonte (1955 m) e raggiungono il livello del mare lungo percorsi brevi e ripidi.

4. RACCOLTA DATI

I dati storici utilizzati nella nota sono in parte tratti dalla banca dati ASICal (Aree Storicamente Inondate in Calabria, <http://www.camilab.unical.it/>) e in parte sono stati raccolti mediante un'indagine nell'archivio storico del CNR-IRPI di Cosenza. L'analisi di queste due fonti di informazione ha consentito di ricostruire la serie storica delle piene che hanno causato danni a beni e/o persone nel comune di Reggio Calabria fin dal XVII secolo. I dati raccolti sono stati organizzati in record, ognuno dei quali riportante l'individuazione di quando – *anno, mese e giorno* – e dove – *provincia, comune e località* – una determinata piena si è manifestata. Il tutto corredato dalla trascrizione di quanto accaduto, sia in termini di fenomeni che di danni a beni o persone, ed eventualmente integrato da immagini o foto, se disponibili.

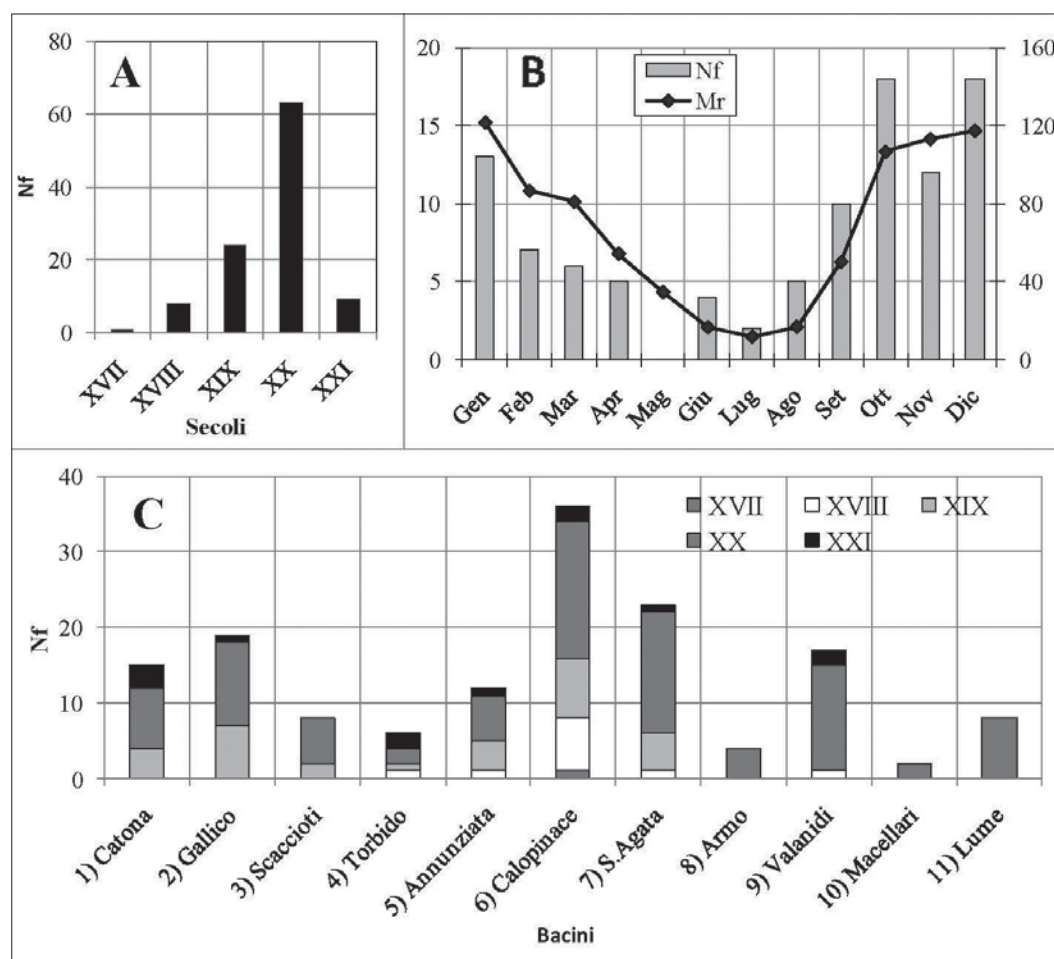


Figura 2 – A) Numero di piene responsabili di danni (Nf) registrate nei secoli scorsi nei bacini ricadenti nel comune di Reggio Calabria. B) Numero di piene responsabili di danni (Nf) classificate per mese, e pioggia media mensile (Mr) registrata nelle stazioni disponibili. C) Numero di piene responsabili di danni registrate in ogni bacino, raggruppate per secoli.

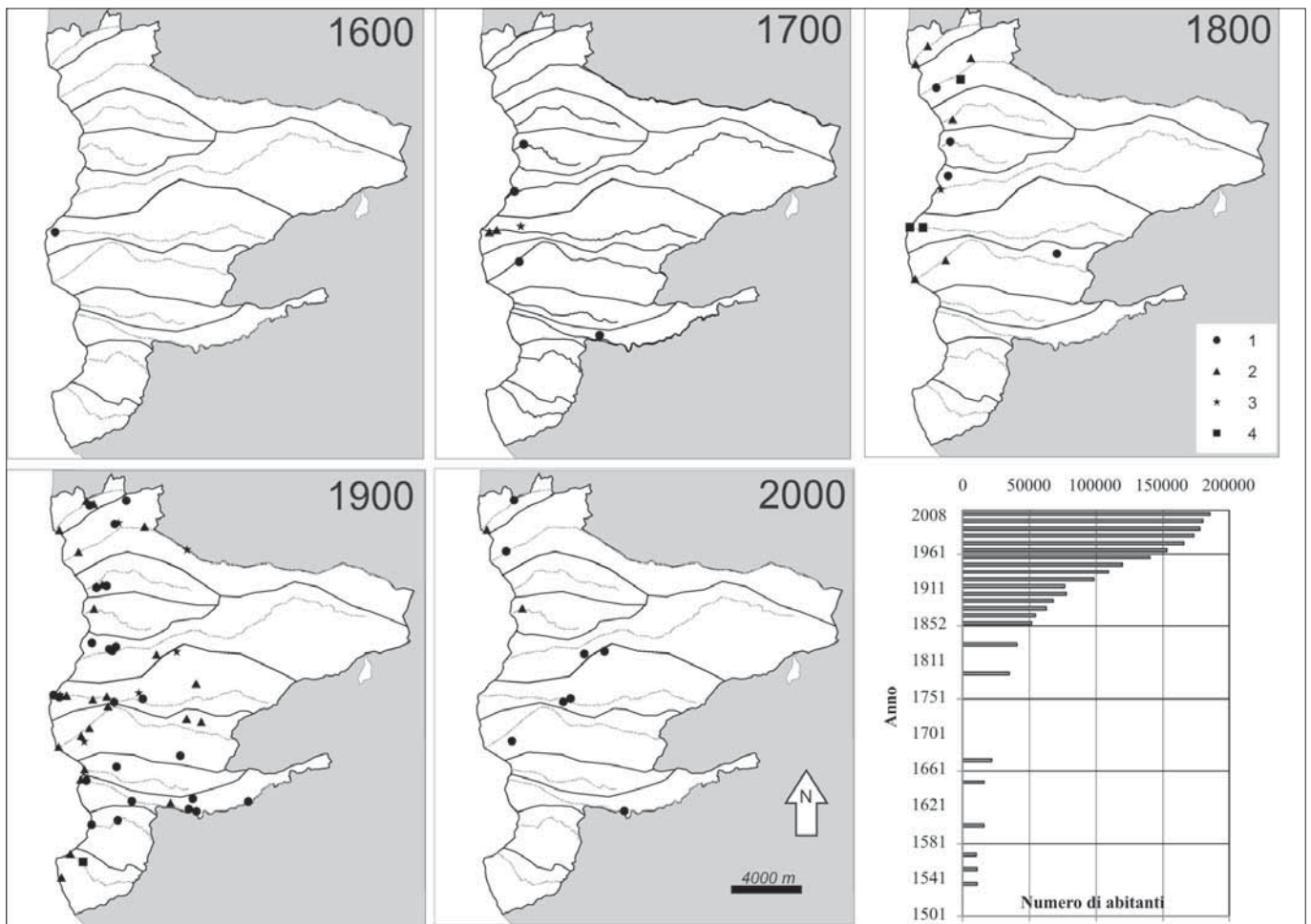


Figura 3 – Localizzazione dei punti affetti da danni di piena nei secoli indicati in alto a destra di ogni mappa. I diversi simboli indicano il numero di casi in cui un dato sito è stato colpito (1= 1 caso; 2= 2 casi; 3= 3 casi; 4= 4 casi). L'istogramma rappresenta il trend della popolazione di Reggio Calabria nei secoli passati.

La serie storica è costituita da 150 record che descrivono danni causati dalle piene di uno o più di uno dei bacini ricadenti nel perimetro municipale (Fig. 2).

La scarsa disponibilità di dati relativi ai secoli XVII e XVIII e alla prima metà dell'800 rendono dubbia l'individuazione di eventuali trend del numero di piene dannose. Il maggior numero di dati inerente il XX secolo riflette, oltre ad una reale occorrenza di eventi di piena, anche una maggiore diffusione dell'informazione e una crescente sensibilità nei confronti dei fenomeni di dissesto idrogeologico che sono caratteristiche di tale secolo, specie su fonti di informazione come i quotidiani confluiti nella banca dati ASICal. L'unico trend che si individua è l'aumento del numero di piene nelle epoche più recenti. Mentre nel XX secolo il numero di record in 100 anni è pari a 95 (in media 0.95 eventi per anno), negli ultimi 10 anni si registrano 12 eventi in soli 10 anni, ovvero 1.2 eventi per anno.

Occorre inoltre tenere presente che l'urbanizzazione dell'area è aumentata sin dall'inizio del XX secolo. Nelle epoche più remote, le piene interessavano settori caratterizzati da insediamenti sparsi e bassa densità di elementi vulnerabili, pertanto non producevano danni e non restava testimonianza storica di esse.

Per i casi in cui i documenti reperiti contenevano indicazioni dei luoghi interessati dai danni da piena, è stata effettuata l'individuazione, in ambito GIS, dei toponimi indicativi di tali luoghi, sia su cartografia attuale che su mappe risalenti al XIX secolo (per i più antichi toponimi attualmente in disuso). In tal modo è stato creato un layer dei punti colpiti durante tutte le piene della serie storica per le quali tale indicazione era disponibile (Fig. 3).

L'istogramma di Fig. 3 rappresenta il trend della popolazione di Reggio Calabria durante lo stesso periodo. Dati ufficiali sulla popolazione sono disponibili a partire dal 1861 (ISTAT), mentre per i periodi precedenti è possibile reperire dati affidabili ma discontinui in alcuni testi storici come Giustiniani (1797) e Marzolla (1851). Durante i secoli XVI e XVII la città era popolata da meno di 30.000 persone; per il secolo XVII il numero di abitanti non è disponibile ma dal 1852 la popolazione è in crescita, con la sola eccezione del 1908, anno del devastante terremoto che colpì la città. L'aumento della popolazione è marcato fra il 1911 ed il 1961: da 75.000 a più di 150.000; il censimento più recente riporta circa 180.000 abitanti. L'aumento del numero di abitanti ha causato una modificazione continua dell'uso del suolo in diversi settori e l'espansione delle aree urbanizzate. In alcuni

casi la crescita urbana è stata effettuata senza una adeguata pianificazione e senza tener conto del reticolo di drenaggio, sottostimando il potere distruttivo delle fiumare. Questo ampliamento delle aree urbanizzate assume due forme principali: a) presenza di nuovi insediamenti in aree alluvionali, il cui sviluppo è incoraggiato dal falso senso di sicurezza creato dalla bassa frequenza delle piene più distruttive e dalla presenza di arginature; b) riduzione progressiva delle sezioni di deflusso dei corsi d'acqua che attraversano l'abitato: alcuni di essi sono stati tombati e soltanto i toponimi consentono di individuarne l'antico percorso.

Il maggior numero di piene si concentra in ottobre (18 eventi), seguito da dicembre (8) e novembre (12), in buon accordo con il regime della piovosità. Il maggior numero di piene interessa i bacini delle fiumare Calopinace, S. Agata e Gallico, rispettivamente con 36, 23, e 19 casi. Riguardo ai danni, per 129 dei 150 eventi censiti i dati raccolti consentono di stimare i danni delle piene; tali record riguardano principalmente le fiumare Calopinace (23% dei casi), S. Agata (17%), Gallico (15%), Catona (10%) e Valanidi (10%). I danni interessano più frequentemente le opere idrauliche in alveo, principalmente gli argini, che nei secoli sono stati ricostruiti o

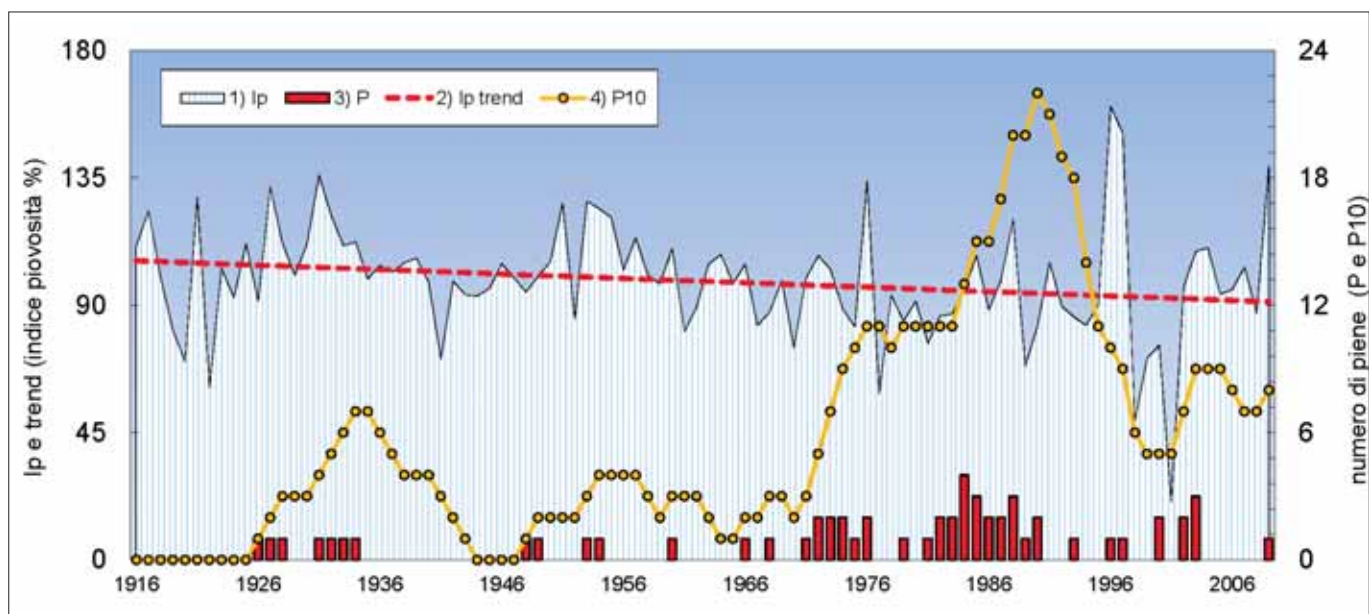


Figura 4 – Diagramma dell'indice della piovosità annuale (I_p), il numero annuale di piene catastrofiche (P) e le rette trend di I_p e di P_{10} , la cumulata decennale di P .

sopraelevati per contenere anche l'enorme trasporto solido che caratterizza le piene maggiori (25% dei casi). Seguono le strade (18%), l'edilizia (14%) e l'agricoltura (16%). I danni alle persone si registrano solo in sei bacini: i casi in cui si registrano vittime (4% del totale) sono prevalentemente dei secoli scorsi (1743, 1793, 1795, 1871, 1880, e 2003). In particolare, per l'evento del 1793, fonti di informazioni coeve riportano un numero di vittime maggiore di 400.

I dati di piovosità mensile sono disponibili per il periodo 1916-2009, in sei serie temporali di dati, una per ciascun pluviometro dell'area.

Per valutare in modo sintetico il trend della piovosità, è stato calcolato l'indice della piovosità annuale ($I_{p,y}$) per ogni anno (y) che è applicato all'intera area (Petrucci e Polemio 2003):

$$I_{p,y}(\%) = \frac{\sum_i PA_{i,y}}{\sum_i PMA_i} \% \quad (1)$$

In cui $PA_{i,y}$ è la pioggia annua alla stazione i ; PMA_i è la pioggia media annua alla stazione i ; i è il numero di stazioni disponibili nell'anno y . L'indice di pioggia annuo $I_{p,y}$ (1) è stato calcolato per l'intera area di studio.

Le piene risultano spesso concentrate in quegli anni in cui la pioggia è più elevata. Dal 1916 al 2009, in 38 anni si registra almeno una piena catastrofica. Due piene catastrofiche si registrano in 15 anni, tutti verificatisi dal 1972.

Il trend della piovosità nell'intera area è stato determinato mediante la retta di regressione di I_p (Fig. 4)

Come osservato in tutta l'Italia meridionale (Polemio e Casarano 2008), un calo della piovosità si è verificato negli ultimi anni; tale calo è maggiore del 10% della media attuale.

Il trend delle piene catastrofiche è stato caratterizzato calcolando $P_{10,y}$ ovvero il numero totale delle piene catastrofiche dei dieci

anni precedenti, a partire dall'anno y . I più alti valori di $P_{10,y}$ sono relativi al periodo 1976-1995. Il gradiente, in termini di coefficiente angolare, della retta di regressione di $P_{10,y}$ è positivo e equivale a un incremento di 10 eventi in 74 anni. Questo incremento potrebbe essere sovrastimato per le probabili lacune nei dati inerenti le piene verificatesi nella prima parte dello scorso secolo. La correlazione lineare tra I_p , il numero annuale delle piene P o P_{10} è bassa, statisticamente poco significativa e sorprendentemente negativa o inversa. Di conseguenza, il calo tendenziale della piovosità annua non può spiegare o contribuire a giustificare il recente incremento del numero delle piene catastrofiche.

Tale risultato è coerente ed enfatizza i risultati emersi a scala regionale sul trend del numero di giorni piovosi, in apprezzabile calo, tanto rilevante da far sì che la tendenza della piovosità giornaliera, calcolata su base mensile, a partire dai valori mensili di piovosità e di giorni piovosi, sia sostanzialmente stazionaria o moderatamente crescente (Polemio e Petrucci 2010).

5. CONCLUSIONI

È stata ricostruita la serie storica delle piene responsabili di danni verificatesi in epoca storica nel comune di Reggio Calabria. Tale serie, costituita da 150 casi di piene, è stata analizzata in confronto al trend delle piogge e alle principali modificazioni antropiche succedutesi nell'area. La frequenza delle piene responsabili di danni è in aumento e sembra connessa più al ruolo della crescente urbanizzazione che all'andamento delle piogge. Per quest'ultimo, infatti, non si riscontrano sostanziali incrementi, anzi, esso risulta in diminuzione e ciò non è in accordo con l'incremento del numero di piene che si osserva. Al contrario, si osserva che l'incremento co-

stante della popolazione ha determinato una crescente espansione edilizia, anche in aree esposte a rischio di inondazione.

La progressiva espansione edilizia, realizzata senza tener conto delle aree di espansione delle fiumare, sembra avere il ruolo più determinante sull'aumento del rischio da piena nel comune di Reggio Calabria. Ulteriori ricerche, attualmente in corso, sono focalizzate sull'analisi di diversi tipi di dati pluviometrici e climatici e sulla valutazione dell'impatto causato dai singoli eventi di piena e l'eventuale trend che lo caratterizza.

BIBLIOGRAFIA

- BRÁZDIL R., KUNDZEWICZ Z.W., ZBIGNIEW W., BENITO G. (2006), *Historical hydrology for studying flood risk in Europe*. Hydrolog. Sci. J. 51(5): 739-764.
- GIUSTINIANI L. (1797), *Dizionario geografico-ragionato del Regno di Napoli*, Vol. 1
- MARZOLLA B. (1850). *Provincia di Calabria Citeriore* (Carta geografica).
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2003), *The use of historical data for the characterisation of multiple damaging hydrogeological events*. Natural Hazards and Earth System Sciences 3(1/2): 17-30.
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2007), *Flood risk mitigation and anthropogenic modifications of a coastal plain in southern Italy combined effects over the past 150 years*. Natural Hazards and Earth System Sciences 7, 361-373.
- POLEMIO M. (2010), *Historical floods and a recent extreme rainfall event in the Murgia karstic environment (southern Italy)*. Zeitschrift für Geomorphologie, 54, 195-219.
- POLEMIO M., CASARANO D. (2008), *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. In: Climate change and groundwater, edited by: Dragoni, W., and Sukhija, B. S., Special publications, Special Publications, The Geological Society, London, 39-51, 2008.
- POLEMIO M., PETRUCCI O. (2010), *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43 (4), 403-415.

La pericolosità geomorfologica dei bacini di Briga e Giampileri (Messina) in seguito all'evento del 1 Ottobre 2009

PUGLISI C.
Enea, Roma
e-mail: puglisi@enea.it

CAMPOLO
Geologo, libero professionista, Messina

FALCONI L.
Enea, Roma

LEONI G.
Università di Roma Tre, Dipartimento di Scienze Geologiche

LUMACA S.
Geologo, libero professionista, Messina

PREMESSA

I fenomeni di colata rapida di fango e detrito sono tra le frane più gravose in termini di perdita di vite umane; solo negli ultimi anni in Italia numerose sono state le catastrofi ascrivibili a tali fenomeni (Piemonte 1994, Versilia 1996, Sarno, 1998, Cervinara 1999, Val d'Aosta e Valle Anzasca, 2000, Ischia 2006 e 2009, Messina 2007, 2009, e 2011), con un numero di vittime che ammonta ad oltre 300.

L'elevato rischio proprio delle colate rapide consiste nella difficile valutazione della pericolosità ed in particolare della componente della previsione spaziale (susceptibilità). Infatti, poiché tali fenomeni sono essenzialmente di prima generazione, raramente interessano, nell'area di innesco, due volte la stessa porzione di versante, rendendo la previsione spaziale particolarmente problematica.

Tale difficoltà è strettamente connessa alle cause innescanti i fenomeni, costituite essenzialmente da eventi pluviometrici intensi di carattere sporadico ed improvviso. In Italia è stata documentata negli ultimi 50 anni una tendenza all'aumento dell'intensità delle precipitazioni ed una diminuzione della loro durata (Ferrara & Farruggia, 2007). La prevista estremizzazione di tali fenomeni fa ipotizzare per il futuro una maggiore probabilità di innesco di frane di colata rapida di fango e detrito. Appare quindi necessario, anche in vista dei nuovi scenari climatici, dotarsi di strumenti conoscitivi atti a valutare la pericolosità di tali fenomeni. In questo ambito viene proposto un processo metodologico con approccio geomorfologico, strutturato in maniera tale da tenere in debita considerazione il problema focale della previsione della suscettibilità e dell'intensità dei fenomeni di prima generazione. La metodologia proposta, già sperimentata altrove, viene applicata al versante ionico dei Monti Peloritani (Comune di Messina) colpito da eventi di questo tipo l'1 Ottobre 2009, in particolare ai bacini di Giampileri e Briga.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I Monti Peloritani rappresentano la terminazione meridionale dell'Arco Calabro-

Peloritano; questa catena risulta essere costituita da una pila di falde di ricoprimento SE-vergente, ognuna delle quali caratterizzata da unità metamorfiche di età pre-Alpina coinvolte dai processi orogenici sia Ercinici che Alpini, tettonicamente sovrapposte alle unità sedimentarie maghrebidi (Lentini *et al.*, 2002).

Secondo gli ultimi schemi tettono-stratigrafici e revisioni geologico-petrologiche proposti nella letteratura scientifica, l'edificio peloritano è formato da 7 unità stratigrafico-strutturali sovrapposte, con una geometria di tipo "antiformal stack", secondo un ordine inverso di sequenza metamorfica che vede i termini cristallini di più alto grado metamorfico in posizione geometrica via via più elevata (Vignaroli *et al.*, 2008).

Le formazioni affioranti nel settore peloritano sono quindi costituite prevalentemente da rocce scistoso-cristalline di vario grado metamorfico (filladi, scisti, marmi, gneiss) estesamente coperte da coltri detritiche; in maniera più subordinata sono presenti anche depositi sedimentari di copertura.

INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E IDROGRAFICO

L'aspra morfologia che caratterizza il versante ionico dei Monti Peloritani è stata condizionata dalla litologia prevalentemente cristallina, dalle complesse condizioni geostutturali connesse alla tettonica orogenica, dalla tettonica recente e dal forte sollevamento tuttora in corso, che interessa il settore dal Miocene superiore.

L'insieme di queste condizioni ha morfologicamente condizionato la zona generando in generale forti energie di rilievo, strette valli a "V" fortemente incise, alvei in continuo approfondimento spesso caratterizzati da gradini e salti morfologici significativi.

Lo spartiacque principale si sviluppa con direzione nord-sud, lungo questa catena separando il versante tirrenico da quello ionico. I bacini imbriferi che si sviluppano sul versante ionico, hanno un'estensione raramente superiore ai 10 Km² ed una forma a "foglia"; le aste principali di ciascun bacino sono tra loro parallele, con andamento normale alla costa, mentre quelle secondarie sono pres-

soché ortogonali alle prime secondo il tipico pattern di drenaggio a "traliccio", proprio di reticoli impostati su linee tettoniche. Le lunghezze delle aste principali sono esigue, generalmente intorno a 3 km, anche se localmente possono raggiungere lunghezze di 8-9 km, come nel caso della F.ra Giampileri o della F.ra Briga

Le notevoli pendenze dei profili vallivi, assieme alla scarsa permeabilità del substrato roccioso, conferiscono ai sistemi idrografici una notevole capacità di erosione e trasporto.

Il regime idrologico è marcatamente torrentizio, tipico delle "fiumare", con deflussi superficiali scarsi o assenti nel periodo primavera-estate e consistenti nei mesi autunnali e invernali.

Tali fattori accrescono l'energia delle acque di ruscellamento, determinando in occasione di eventi pluviometrici intensi notevoli portate solide, con trasporto di blocchi anche decametrici.

Gli eventi pluviometrici intensi provocano fenomeni gravitativi rapidi classificabili come colate rapide di fango e detrito (*debris-mud flows*), che interessano le coperture detritiche, di alterazione e antropiche.

Tali fenomenologie hanno determinato lo sviluppo di cospicui conoidi nelle zone di recapito finale degli alvei ed allo sbocco dei tributari negli alvei principali, nonché estese fasce detritico colluviali alla base di versanti.

METODOLOGIA

In questo studio la valutazione della suscettibilità all'innesco si basa sull'inventario dei fenomeni avvenuti e sul riconoscimento di parametri discriminanti e fattori predisponenti al fine di individuare Unità Territoriali Omogenee (UTO).

I parametri discriminanti sono tipicamente di ordine geologico e morfologico, e sono definiti come le condizioni necessarie ma non sufficienti per cui una porzione di territorio sia suscettibile al fenomeno.

Per le colate rapide sono costituiti da litologia (e relativa copertura) e pendenza originaria del versante. Attraverso l'*overlay mapping* in ambiente GIS di questi due strati informativi il territorio viene suddiviso in unità caratterizzate dalla presenza di entrambi

i parametri discriminanti: le Unità Territoriali Lito-Morfometriche (UTLM).

I fattori predisponenti sono rappresentati dalle condizioni geologiche, geomorfologiche, morfometriche ed antropiche il cui contributo determina la maggiore o minore suscettibilità di un'area.

Ogni parametro discriminante e predisponente viene spazializzato e costituisce uno strato informativo geografico. Tramite l'analisi statistica dell'inventario per ciascun fattore predisponente vengono determinati quelli maggiormente significativi.

Quindi, in funzione del contributo all'instabilità, vengono assegnati un indice a ciascuna classe dei fattori ed un peso complessivo ad ogni fattore, che rappresentano l'influenza relativa nella determinazione del livello di suscettibilità.

La sovrapposizione in ambiente GIS di tutti i livelli informativi relativi ai parametri discriminanti ed ai fattori predisponenti produce lo strato informativo di sintesi: esso identifica le porzioni di territorio caratterizzate dalla particolare combinazione di fattori: le Unità Territoriali Omogenee (UTO).

Una opportuna funzione di suscettibilità implementa gli indici ed i pesi associati alle componenti e ne ricava una mappa della suscettibilità all'innesco.

Successivamente, considerando le aree a suscettibilità molto elevata viene costruito un modello morfologico inerente le aree di flusso e di accumulo dei flussi potenziali producendo così le carte di suscettibilità alla propagazione ed al recapito del materiale mobilizzabile. La distanza di propagazione del materiale mobilizzabile viene ricavata graficando, in accordo con Rickemann (1999), i volumi e le distanze di propagazione dei fenomeni avvenuti, ottenendo così una formula empirica per la stima delle distanze di propagazione dei fenomeni potenziali.

La fase successiva prevede il calcolo della velocità delle colate rapide, secondo l'approccio di Johnson & Rondine (1984), in diversi punti di diversi fenomeni avvenuti, e negli stessi punti di tali fenomeni viene effettuato il calcolo dell'energia. Questi risultati sono poi applicati ai fenomeni potenziali, così da poter modellare l'energia attesa in ogni punto dei fenomeni potenziali.

SUSCETTIBILITÀ

Tutti i fenomeni censiti sono classificabili come colate di detrito e fango a rapida evoluzione.

Il censimento ha previsto un'analisi iniziale delle foto aeree in cui è stato possibile descrivere i fenomeni avvenuti riportando, in ambiente GIS, gli elementi morfologici peculiari di questa tipologia di fenomeno. Tali elementi sono i Punti Identificativi Fenomeno

Franoso (PIFF), le aree di innesco, le aree di alimentazione e i Punti Identificativi Piede del fenomeno franoso (PIP).

Dall'analisi delle foto aeree sono state individuate più di 1000 frane ubicate soprattutto nella parte più orientale dell'area studio, comprendente nello specifico le porzioni medio-basse dei bacini idrografici di Giampileri e Briga.

E' stato possibile suddividere le morfologie delle aree di innesco in arcuate, rettangolari, lobate (lobata-arcuata, lobata-rettangolare, lobata-mista), puntuali.

Le aree di alimentazione sono state distinte in "incanalate", quando confluiscono in una linea di drenaggio preesistente, e "non



Figura 1 – Morfologia area di innesco arcuata.



Figura 2 – Morfologia area di innesco rettangolare.

incanalate" quando si propagano su versante aperto o secondo morfologie nastriformi, cioè che mantengono la stessa larghezza delle aree di innesco (fig.), o triangolari, quelle in cui la larghezza aumenta allontanandosi dall'area di innesco secondo un angolo di apertura di circa 20° (fig.), conformemente a quanto riportato in bibliografia per altre zone di studio italiane, quali Sarno e Cervinara (Guadagno, 2000; Puglisi, 2005).

Per dettagliare e validare l'inventario preliminare dei fenomeni, si è reso necessario un rilevamento di terreno con la compilazione di una scheda-rilievi, elaborata appositamente per questa tipologia di fenomeni, per un numero complessivo di 124 frane. Le schede utilizzate, oltre a descrivere gli elementi morfologici e morfometrici, contengono tutte le informazioni relative ai parametri discriminanti e ai fattori predisponenti. Alcuni dei parametri sono stati rilevati anche tramite l'analisi di foto aeree e con l'ausilio di un DEM di estremo dettaglio.

I parametri discriminanti per le colate rapide, sono costituiti dalla presenza della copertura e dalla pendenza originaria del versante.

La presenza della copertura è quasi continua nell'area di studio, fanno eccezione le aree urbane, alcuni punti di roccia affiorante e le aree di innesco delle frane del 01/10/09. Il range di pendenza in cui si sono impostate le nicchie di distacco ricavate dal lavoro di terreno varia da 22° a 73°, ma l'intervallo di pendenza maggiormente significativo in base alla sua frequenza relativa, estratto tramite elaborazioni statistiche sui fenomeni censiti, è risultato essere 36° - 56°.

I fattori predisponenti più significativi sono visualizzati nella tabella seguente:



Figura 3 – Morfologia area di innesco lobata.



Figura 4 – Morfologia area di innesco puntuale.

Parametri Discriminanti	Fattori Predisponenti
Presenza di copertura	Geologia del substrato
Pendenza	Pendenza
	Uso del suolo
	Elementi Antropici
	Curvatura longitudinale
	Esposizione del versante

Ad ogni fattore considerato è stato assegnato un peso crescente da 0 a 5 al fine di quantificare la relativa influenza nella valutazione della suscettibilità rispetto agli altri fattori considerati, mentre a ciascuna classe di ogni fattore predisponente è stato attribuito un indice crescente da 0 a 9.

Una volta digitalizzati sia i parametri discriminanti che i fattori predisponenti viene effettuata la loro integrazione in ambiente GIS

producendo così le Unità Territoriali Omogenee (UTO). Ad esse viene applicata la seguente funzione di suscettibilità:

Equazione 1

$$S = (I_{cop} \times I_{pend}) \times \frac{\sum_n (i_n \times P_n)}{\sum_n P_n}$$

dove:

S: Suscettibilità

I_{cop} : indice del parametro discriminante copertura

I_{pend} : indice del parametro discriminante pendenza

i_n : indice del fattore predisponente n-esimo

P_n : peso del fattore predisponente n-esimo

Tale funzione restituisce una carta della suscettibilità suddivisa inizialmente in 9 livelli, essi vengono poi raggruppati qualitativamente nelle 5 classi schematizzate nella tabella seguente:

LIVELLI	SUSCETTIBILITÀ
0	Nulla
1-4	Bassa
5	Media
6-7	Elevata
8-9	Molto Elevata

INTENSITÀ

Successivamente si è proceduto all'analisi dell'intensità che può essere espressa in una scala relativa, associandola a livelli di danneggiamento o perdite, oppure in termini di grandezze caratteristiche del fenomeno (es. velocità, volume, energia). Secondo la metodologia adottata, l'intensità viene considerata come uguale, o proporzionale, all'energia cinetica sviluppata dalla frana, poiché le valutazioni per velocità e/o dimensioni possono risultare parziali.

Sono state calcolate tutte le grandezze necessarie alla valutazione dell'energia cinetica sviluppata, sia per i fenomeni avvenuti che per quelli potenziali. Tali grandezze sono: i volumi delle aree di innesco e delle aree di transito, la distanza di propagazione dei flussi e la velocità delle colate.

Per stimare il volume mobilizzato di ogni singolo fenomeno si è calcolato il prodotto della profondità massima dell'area di nicchia (che varia da 0,5 a 2,5 metri) per l'area di innesco, ricavata da fotointerpretazione; tale prodotto è stato poi ricondotto al volume reale tramite un fattore di correzione della forma, ricavato sperimentalmente.

Per non tralasciare i volumi mobilizzati delle aree di transito sono stati considerati, in seguito ad osservazioni di terreno, dei valori medi di spessore di tali zone variabili da 0,3 a 1m.

Studi effettuati su una serie di *debris flows* incanalati (Rickenmann, 1999) hanno stimato che il gradiente medio del percorso di un *debris flow* dipende dal volume che esso mobilita e dalla differenza di quota tra il punto di innesco e il punto di arresto del materiale mobilizzato. Quindi tramite fotointerpretazione, e analisi GIS 3D, si è misurata la distanza effettiva percorsa dal fenomeno dal PIFF al PIP, per ogni fenomeno avvenuto e sono state ricavate le leggi "sito specifiche" per il *run-out*, sia per i flussi incanalati che per quelli non incanalati.

Graficando (Figura 5) il prodotto tra volume **Vol** e differenza di quota **deltaH** (quota PIFF – quota PIP) in ascissa, e la distanza di propagazione **L** in ordinata (Figura 5), per

un centinaio di fenomeni, si sono ricavate le seguenti equazioni:

fenomeni incanalati $L = 6,417 (\text{Vol} * \text{deltaH})^{0.3078}$

fenomeni non incanalati $L = 3,266 (\text{Vol} * \text{deltaH})^{0.3148}$

ne nei siti considerati. Le velocità massime hanno valori compresi tra 8 e 16 m/s.

Dopo aver ricavato la distanza di propagazione del fenomeno a cui è stato possibile applicare il calcolo della velocità, sono state valutate le energie sviluppate dalle colate rapide investigate. Lungo tutta la distanza

evidenti sono la diffusione dell'elevato grado di pericolosità spaziale nell'intera area studio e le enormi intensità raggiungibili da fenomeni potenziali.

Le analisi condotte costituiscono la base conoscitiva necessaria ad una esaustiva valutazione della pericolosità geomorfologica, comprensiva cioè delle valutazioni circa i tempi di ritorno dei fenomeni meteorologici estremi che rappresentano le cause di innesco.

Il completamento degli aspetti relativi all'esposizione e vulnerabilità del territorio permetterebbe infine la definizione di scenari di rischio geomorfologico.

Tali studi di dettaglio sono necessari per tutto il territorio nazionale al fine di una corretta e sostenibile pianificazione territoriale che, partendo dalla previsione e prevenzione delle "catastrofi naturali", conduca allo sviluppo di efficaci piani di protezione civile.

BIBLIOGRAFIA

- FALCONI L., LENTINI A., LEONI G., PUGLISI C., PRADA C.R. (sottomesso), *A geomorphological-based approach for debris flow risk assessment in the Alcamayo creek catchment* (Aguas Calientes, Cusco, Perù). Landslides
- FERRARA V., FARRUGGIA A. (2007), *Clima: istruzioni per l'uso. I fenomeni, gli effetti, le strategie*. Edizioni Ambiente, Milano.
- FIORILLO F., GUADAGNO F., AQUINO S., DE BLASIO A. (2000), *The December 1999 Cervinara landslides: further debris flows in the pyroclastic deposits of Campania (southern Italy)*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, volume 60, Number 3, 171-184.
- JOHNSON A. M., RODINE J. R. (1984), *Debris flow slope stability*. Editors Brusden D. & Prior D.B., John Wiley and Sons, New York; 257-361.
- LENTINI F., CATALANO S., CARBONE S. (2000), *Nota illustrativa della Carta geologica della Provincia di Messina (Sicilia Nord-Orientale)*. Scala 1:50000. S.EL.CA, Firenze. 70 pp.
- PUGLISI C., FALCONI L., LEONI L., PINO P., RASÀ R., TRIPODO A. (2007), *Analisi della Suscettibilità da frana in Sicilia (1:250.000): Relazioni con scenari climatici futuri*. Workshop "Cambiamenti Climatici e Dissesto Idrogeologico: Scenari Futuri per un Programma Nazionale di Adattamento; Napoli, 9-10 Luglio 2007.
- RICKENMANN D. (1999), *Empirical Relationships for Debris Flows*. Natural Hazards, 19: 47-77.
- VIGNAROLI G., FACCENNA C., JOLIVET L., PIROMALLO C., ROSSETTI F. (2007), *Subduction polarity reversal at the junction between the Western Alps and the Northern Apennines*. Italy Tectonophysics, 450 (2008), 34-50.

Leggi sito specifiche dei bacini idrografici dei torrenti Giampilieri e Briga

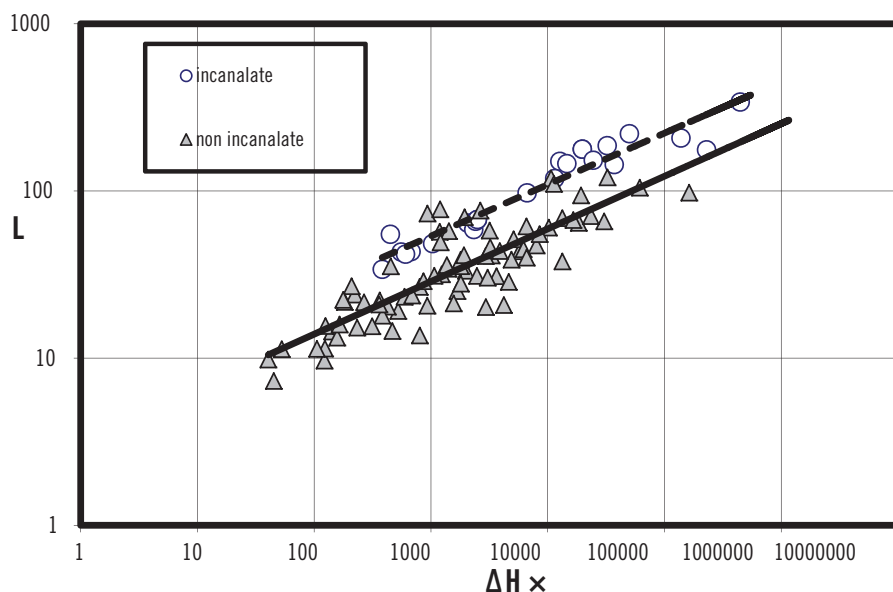


Figura 5 – Leggi sito-specifiche per la distanza di propagazione dei debris flows.

Durante la fase di rilevamento sono stati individuati alcuni settori idonei alla misura delle velocità raggiunte dalle colate di fango e detrito occorse il 1 Ottobre 2009. Adottando l'approccio di Johnson & Rodine (1984), secondo i quali è possibile risalire alla velocità media partendo dalla misura del soprallzo che si verifica in presenza di una curva per effetto della forza centrifuga, i siti identificati come idonei sono stati gli impluvi caratterizzati dalla presenza della traccia lasciata dal passaggio della colata rapida. La formula per il calcolo della velocità media è:

$$\text{Equazione 2} \quad V = (R * g * \cos i * \text{tg } b)^{1/2}$$

dove

V = velocità media,

R = raggio di curvatura dell'asse dell'impluvio considerato,

g = accelerazione di gravità,

i = pendenza del tratto di impluvio considerato,

b = inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie della miscela fluida in moto, in corrispondenza della curva.

Applicando tale formula in diversi punti del percorso attraversato da ciascun debris flow, sono stati calcolate le velocità relative, in modo da ricostruire le curve di decelerazio-

ne percorsa dal fenomeno, in ogni punto in cui è stato effettuato il calcolo della velocità, è stato possibile ricavare i valori di energia cinetica sviluppata.

Sapendo che l'energia cinetica è pari a:

$$\text{Equazione 3} \quad E = 1/2 MV^2$$

la stima delle energie è stata effettuata calcolando il prodotto della massa (M), considerata costante e pari al prodotto del volume per la densità media (stimata in 2000 kg/m³) per la velocità (V) nei punti noti. Le energie massime sviluppate sono risultate dell'ordine delle migliaia di Kilojoule.

Infine sono stati stimati il volume, la distanza di propagazione e la velocità per alcuni fenomeni potenziali, individuati tramite la carta della suscettibilità, per arrivare alla stima dell'energia sviluppabile nei diversi punti lungo il percorso in cui potrebbero svilupparsi nuovi fenomeni.

CONCLUSIONI

Il presente studio evidenzia complesse e numerose problematiche per i bacini dei Torrenti Giampilieri e Briga in riferimento alla pericolosità geomorfologica. L'elevata predisposizione al dissesto geomorfologico è confermata dalle analisi realizzate in questo studio, relative alla valutazione sia della suscettibilità che di intensità. Caratteristiche

La frana di Sapri (23 novembre 2010) lungo la SS 18 Tirrenica inferiore: esempio di fenomeno eccezionale lungo versanti carbonatici

ROMEO MARIANO TOCCACELI
Geologo Libero Professionista
e-mail: rmtocaceli@tiscali.it

RIASSUNTO

Tra i fenomeni gravitativi di versante, rivestono notevole importanza le frane in roccia, caratteristiche dei versanti carbonatici, per la loro particolare pericolosità e rischio elevato per i beni esposti. E' quasi sempre il caso di zone caratterizzate da elevata energia del rilievo, da una disposizione sfavorevole della giacitura delle discontinuità e/o da un intenso grado di fatturazione dell'ammasso roccioso, ovvero dalla presenza di locali condizioni morfostratigrafiche che costituiscono caratteri predisponenti per l'evoluzione di fenomeni franosi. Diventano, in questi casi, particolarmente complesse le attività di analisi e gestione del rischio idrogeologico e la realizzazione di interventi mirati, siano essi "strutturali" che "non strutturali" (Amadesi & Vianello, 1985; Amanti et alii, 1996). In ogni caso, una corretta ed adeguata attività di pianificazione su area vasta o realizzazione di interventi puntuali di messa in sicurezza, deve essere sostenuta da procedure legate alla puntuale conoscenza geologica dei luoghi, prioritariamente, ed alla individuazione, in seguito, degli elementi geomorfologici e dei processi morfodinamici, siano essi pregressi o potenziali. Tuttavia, valutazioni a carattere regionale, su area vasta, possono ovviamente registrare la pericolosità da frana di un territorio come di un'area, in termini probabilistici e qualitativi, ma non l'entità del fenomeno, in termini spazio-temporali, che rimane un parametro controllato da fattori cosiddetti "innescanti" esterni e variabili rispetto al contesto geologico-geomorfologico. In tale senso, in coincidenza di particolari condizioni definibili "di soglia" dei fattori innescanti, si assiste ad eventi franosi che possono definirsi di tipo "eccezionale" proprio per la entità delle masse messe in gioco e per le caratteristiche cinematiche del fenomeno stesso. E' il caso della frana di Sapri che il 23 novembre 2010 ha interessato il versante costiero al km 219 circa, sovrastante la Strada Statale N° 18 Tirrenica Inferiore, che costituisce una importante arteria stradale di collegamento, al confine campano-lucano tra gli abitati di Sapri (SA) e Maratea (PZ), famosa per le caratteristiche paesaggistiche e per le condizioni di rischio

connesso, appunto, alla elevata pericolosità da frana. L'evento studiato mette in evidenza come attività di pianificazione su area vasta vanno necessariamente seguite da attività di verifica di dettaglio riguardo alle puntuali condizioni geologiche, morfostratigrafiche e di stabilità e, soprattutto, di monitoraggio tenendo conto delle già citate condizioni di "soglia" dei fattori innescanti.

1988; Menardi Noguera & Rea, 2000; Nicolai & Gambini, 2007). Il versante, quasi completamente regolarizzato, comprende pareti rocciose dislocate a più altezze (in alcuni punti limitrofi anche superiori ai 100 m) o direttamente aggettanti sulla sede stradale o lungo la linea di costa, e a luoghi articolate a gradoni; lungo altri settori, la fascia di raccordo è costituita da falde o coni detritici



Figura 1 – Inquadramento territoriale e panoramica area del'area in esame.

1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOLOGICO GENERALE

L'area ricade (Fig. 1) al margine meridionale del Cilento, lungo il versante costiero del Monte Ceraso (q. 610 m) qualche kilometro a SE dell'abitato di Sapri, dove, lungo la porzione basale dello stesso si snoda la Strada Statale N° 18 Tirrenica Inferiore. Il monte Ceraso costituisce la propaggine meridionale della morfostruttura carbonatica del Monte Coccovello (q. 1200 m) afferente alla unità tettonica dei Monti Alburno-Cervati (AA.VV.,

più o meno sviluppati a medio-alta acclività.

Da un punto di vista geologico generale (fig. 2), l'area vede l'affioramento di una potente successione costituita da rocce calcaree stratificate che nel complesso costituiscono il substrato prequaternario di gran parte del territorio costiero; l'assetto giaciturale della successione calcarea stratificata è prevalentemente disposta a "traversopoggio" meno inclinato del pendio con locali corrispondenze tra la superficie litostrutturale della successione e la superficie topografica.



Figura 2 – La successione carbonatica esposta lungo i versanti costieri e dettaglio dell'affioramento.

La successione affiorante afferisce all'Unità tettonica Alburno-Cervati-Pollino, estesa dal Giurassico al Langhiano, (D'Argenio *et alii*, 1973; Ippolito *et alii*, 1975; Bonardi *et alii*, 1992b). Nell'area in esame, affiorano i termini medio-alti della successione, tra il Cretacico superiore, di età riferibile al Turoniano-Campaniano *p.p.*, ed il Paleocene superiore *p.p.*-Eocene medio *p.p.*, della formazione di Trentinara. I primi sono rappresentati da calcilutiti ben stratificate di colore dal grigio chiaro al grigio scuro, in strati spessi in genere da 50 a 100 cm, con subordinati calcari laminati dolomitizzati e dolomie scure con spessori variabili da pochi decimetri a due metri circa. Seguono calcari da grigi ad avana, ben stratificati, in strati spessi da 30 a 100 cm; si riconoscono marne ed argille marnose verdastre, più raramente ocracee, in livelli centimetrici ed in lenti spesse generalmente pochi centimetri; calcari nodulari e pseudoconglomeratici costituiti da calcilutiti grigio chiaro in un reticolo anastomosato di cavità e fratture riempite da argille marnose rossastre e verdognole.

Al tetto della formazione di Trentinara, si rinvencono a luoghi, lenti e sacche discontinue di argille lateritiche di colore prevalentemente rossastro (Boni, 1974; Boni *et alii*, 1978); lo spessore è variabile da pochi centimetri a circa una quindicina di metri, e poggiano generalmente su una superficie arrossata e paleocarsificata (Boni, 1974; Boni *et alii*, 1978). I depositi quaternari, lungo il versante ed alla base dello stesso, sono costituiti da depositi calcareoclastici, di vario spessore, da cementati a sciolti, appartenenti ad alcune generazioni di falde detritiche, quale prodotto del suo progressivo arretramento nell'ambito della recente evoluzione. Nel suo insieme, la morfologia della costa (*ad andamento SO-NE nella porzione occidentale del Foglio e ONO-ESE in quella orientale*) rispecchia il forte controllo tettonico realizzatosi a partire dal Pleistocene inferiore ad opera di un sistema pressoché ortogonale di faglie dirette, sepolte in corrispondenza del Golfo di Policastro (Caiazza *et alii*, 2006).

Le più antiche strutture tettoniche responsabili dell'assetto regionale sono rappresen-

tate dai sovrascorrimenti che hanno determinato l'impilamento dell'unità Nord-Calabrese superiore su quella inferiore. Tali superfici sono osservabili chiaramente in affioramento solo in aree molto limitate anche a causa della prevalente natura pelitica e flyschoid dei terreni a contatto e delle conseguenti rilevanti estensioni delle coperture detritiche ed eluvio-colluviali. Il più importante sistema di faglie dirette quaternarie, tuttavia, non si osserva a terra, ma lungo la costa.

2. L'EVENTO FRANOSO DEL 23 NOVEMBRE 2010: GENERALITÀ

Tra le ore 3 e le ore 5 del 23 Novembre 2010, lungo il versante carbonatico di Monte Ceraso (q. 610 m) che sottende la Strada Statale n° 18 Tirrena Inferiore, al km 218+900, in località "Le Conche - Ruotolo" (Fig. 3) nel tratto che si snoda poco a SE dell'abitato di Sapri (SA), quasi al confine calabro-lucanosi si è verificato un importante evento gravitativo con caratteristiche eccezionali soprattutto per gli aspetti geomorfologici, legati alla evoluzione dei versanti in roccia, e per i aspetti cinematici che lo hanno caratterizzato.



Figura 3 – Inquadramento territoriale dell'area in esame.

Dalla parte medio-alta del versante, in corrispondenza di una delle varie scarpate di morfoselezione, si è staccato un masso ciclopico del volume di circa 2.000 mc, che è letteralmente scivolato sul versante, in modo radente verso valle, andando ad esaurire na-

turalmente la propria corsa a circa 30 m dalla sottostante sede stradale (fig. 4).

Altri blocchi di minore volume hanno accompagnato il fenomeno principale, fermandosi direttamente sulla strada o terminando direttamente in mare; altri massi hanno concluso la corsa fermandosi a tergo del masso stesso (Fig. 5) o lungo l'area di transito. L'area interessata direttamente dall'evento franoso è inserita in un più ampio contesto geomorfologico costituito dai versanti costieri che risultano caratterizzati da condizioni di potenziale instabilità geomorfologica con vario grado di pericolosità e rischio.

3. ASPETTI MORFOSTRATIGRAFICI DI DETTAGLIO E CARATTERI CINEMATICI DELL'EVENTO FRANOSO

Il rilevamento geologico e geomorfologico eseguito ha consentito, per l'area in esame, di verificare nel dettaglio le caratteristiche litostratigrafiche e geomorfologiche dell'area con osservazioni dirette e puntuali supportate da analisi foto interpretative.

L'unità di substrato affiorante lungo il versante, è costituita da rocce calcaree stratificate con locale assetto giaciturale del tipo a "traversopoggio" meno inclinato del pendio. Localmente si rinvencono, distribuiti lungo il versante, depositi incoerenti e/o cementati costituiti da detriti di versante di spessore variabile, di falda e/o eluvio-colluviali talora in abbondante matrice limo-argillosa arrossata. In particolare, in corrispondenza della sommità del versante e lungo i settori sommitali si rinvencono blocchi di varia dimensione, da pochi mc a svariate decine, localmente dislocati, costituiti da brecce antiche cementate o porzioni di calcare degradato proveniente dalla fratturazione del substrato in posto. Questi costituiscono il relitto di una antica falda detritica, probabilmente di età Pleistocene inferiore-medio (?), quasi completamente erosa e smantellata in seguito al sollevamento della fascia costiera avvenuta durante il Pleistocene medio-superiore (Tocaceli, 1992; Ortolani *et alii*, 1997).

I blocchi dislocati poggiano direttamente sui calcari in posto, ovvero su depositi detritici e/o di alterazione; localmente, al letto dei monoliti si rinvencono spessori pluri-decimetri di argille verdastre, appartenenti alla successione carbonatica, e depositi lateritici rossastri, che si rinvencono a chiusura della stessa.

Nel complesso gli affioramenti presentano caratteristiche ed evidenti morfologie dovute a fenomeni carsici e di erosione morfoselettiva, talora spinti fino alla formazione di "sgrottamenti" proprio al passaggio fra i menzionati blocchi e la roccia di appoggio. Il grado di fatturazione e fessurazione complessivo è elevato ampliato dai fenomeni di



Figura 4 – L'evento franoso del 23.11.2010: panoramica del versante e del blocco franato.



Figura 5 – Panoramica del blocco franato.



Figura 6 – Panoramica della nicchia di distacco.

degrado chimico-fisico pregressi e in atto. La porzione di versante oggetto dei rilievi si sviluppa per circa 480-550 m slm raggiungendo il locale spartiacque morfologico naturale, con valori medi e medio-alti della pendenza, nel complesso omogeneamente distribuiti, e con la presenza di localizzate scarpate di morfoselezione e/o litostrutturali.

Una apprezzabile variazione di tali valori, lungo lo sviluppo longitudinale del versante, si individua a circa 90 m slm, all'attacco con la falda detritica pedemontana.

In particolare (fig. 6) il settore di versante da cui si è innescata la frana (nicchia di distacco) si individua a circa 260 m slm, in corrispondenza di una scarpata di morfoselezione controllata strutturalmente da faglie e fratture che individuano localmente volumi anche considerevoli di roccia al limite della stabilità.



Figura 7 – Confronto fotografico del settore di versante ante e post frana.

Alcune di queste discontinuità, risultano a luoghi beanti ovvero riempite di materiale terroso o da precipitati carbonatici.

Nella fig. 7, il report fotografico mette a confronto il settore di nicchia prima e dopo l'evento franoso a testimoniare la precarietà delle locali condizioni di stabilità geomorfologica.

Partendo dalle condizioni originarie del blocco, evidenziate in figura 7, e dal cinematico ricostruito sulla base degli elementi geomorfologici e geostrutturali rilevati in situ, è possibile inquadrare l'evento franoso secondo un cinematico del tipo "scivolamento traslativo" (*block translational slide*) di un blocco (Varnes, 1978; Carrara *et alii*, 1985; Cruden & Varnes, 1996; Scesi *et alii*, 2003).

I caratteri morfostratigrafici e strutturali descritti in precedenza hanno evidenziato una particolare condizione geostrutturale predisponente la mobilitazione del blocco roccioso, così come degli altri rilevati lungo il versante.

Tuttavia, nel caso particolare, le condizioni di inerzia del blocco erano garantite da alcuni vincoli fondamentali: il peso del blocco stesso, la posizione del baricentro, l'attrito sviluppato sul piano di appoggio costituito da un livello argilloso adeguatamente consistente.

In un simile contesto geologico-tecnico e strutturale predisponente alla franosità, risultano abbastanza chiare le relazioni che si realizzano tra gli eventi franosi e le precipitazioni o eventi sismici, quali agenti innescanti più attivi; nel caso preso in esame, potendo escludere la coincidenza di una sollecitazione sismica, anche di bassa intensità, è possibile evidenziare, invece, come l'ultimo quadrimestre del 2010 sia stato caratterizzato da un regime pluviometrico particolarmente intenso

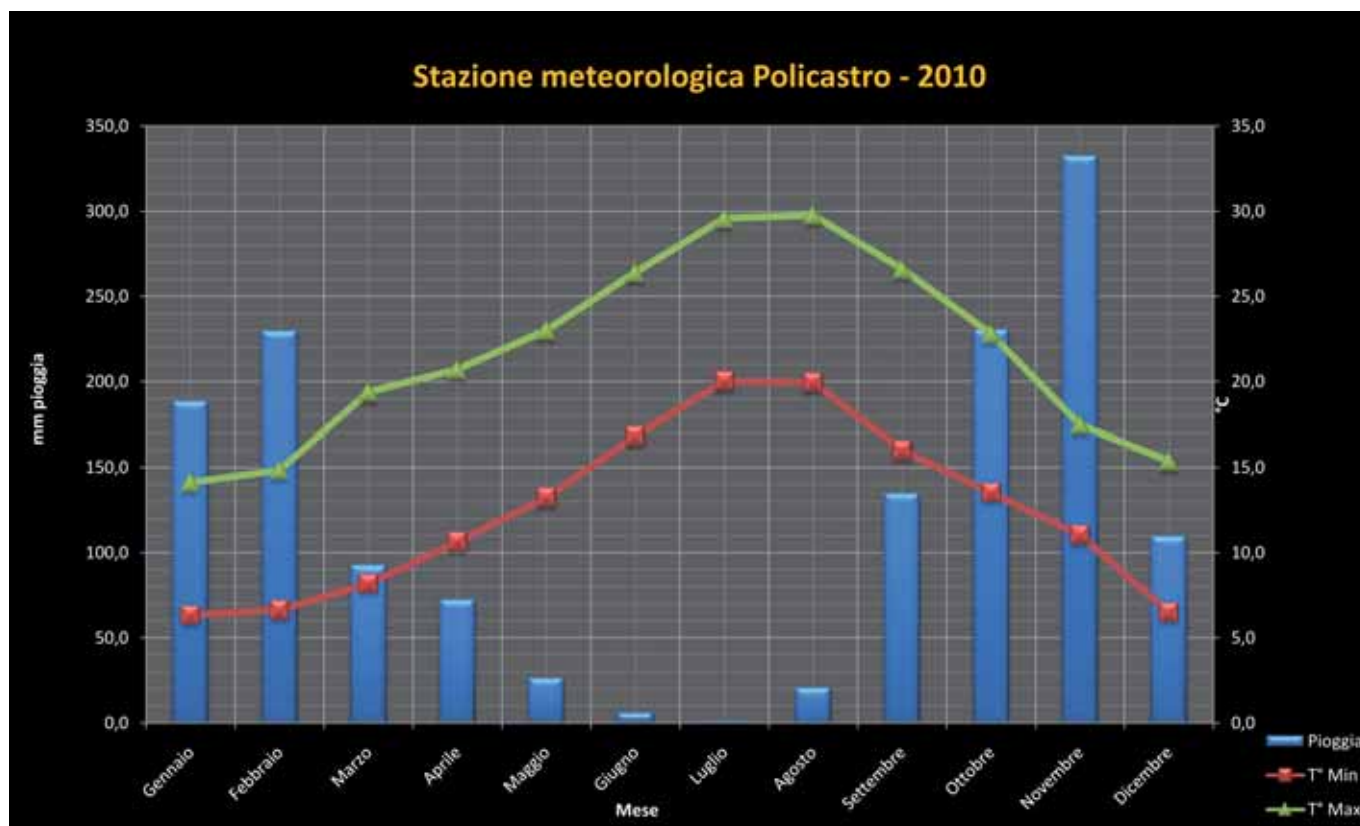


Figura 8 – Istogramma regime pluviometrico anno 2010: Stazione Meteorologica Policastro B.no (SA), Regione Campania Settore Agricoltura.

e prolungato nel tempo, così come dimostrano i dati esposti nella tabella di fig. 8.

La tabella mostra un crescendo a partire dal mese di Settembre, con circa 150 mm di pioggia, per arrivare ad un picco di circa 350 mm per il mese di Novembre. La settimana precedente l'innescò ha registrato un totale di 195,2 mm. Le eccezionali condizioni pluviometriche hanno, quindi, avuto un ruolo determinante nella mobilitazione di alcuni blocchi di notevole dimensione, individuati da fratture beanti e disposti poco a monte del

grosso blocco franato; questo, ricevuto l'urto, si è mobilitato dalla sua posizione originaria, agevolato dalla presenza del livello argilloso ormai plasticizzato per le copiose piogge che localmente ha costituito un orizzonte di debolezza strutturale. La fig. 9, evidenzia, infatti, come il livello argilloso si sia deformato sotto il peso del blocco, con evidente formazione di strie e fratture di tensione prodotte dal conseguente movimento. Il blocco così mobilitato ha superato il modesto dislivello costituito dalla scarpata strutturale del ripiano morfo-

logico su cui era disposto, per scaricarsi sul versante detritico sottostante proseguendo, quindi, in modo radente fino alla posizione di arresto.

Le locali condizioni del versante, caratterizzato da medio-alti valori della pendenza hanno fatto sì che il blocco mobilizzato proseguisse verso valle "solcandolo" lungo il suo tragitto, con la formazione di caratteristici argini di terra lungo ai margini dell'area di transito, spostando, in qualche caso, blocchi disseminati sul versante dalla loro posizione originaria. La particolare conformazione geometrica del grande blocco, assimilabile ad un grande parallelepipedo, ha favorito il naturale appoggio sul versante e il relativamente lento scivolamento verso valle, simulando, cinematicamente, il classico movimento di un grave disposto su di un piano inclinato. La copertura detritica presente lungo il versante, a prevalente componente argillosa, ha agevolato, grazie alla saturazione raggiunta in quel periodo, lo scivolamento radente del blocco lungo il versante, che ha esaurito la sua corsa naturalmente a circa 30 metri dalla Strada Statale N° 18.



Figura 9 – Dettaglio del piano d'appoggio del blocco franato.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Al di là della eccezionalità dell'evento franoso appena descritto, che suscita al geologo o al semplice osservatore, un fascino del tutto particolare in quanto effetto di un processo morfodinamico raro e al tempo stesso significativo ai fini della testimonianza di un processo morfoevolutivo, restano ancora aperti,

per tali fenomenologie, alcuni aspetti legati alla valutazione del pericolo e rischio di frana. In quest'ottica, più il fenomeno si discosta da una cosiddetta "normalità", nei suoi parametri dimensionali, tipologici e cinematici, più l'approccio metodologico e le procedure di valutazione sulla pericolosità diventano complicate e talvolta di difficile applicazione nella conseguente determinazione del rischio. Il pericolo da frana viene definito come la probabilità che un evento, potenzialmente distruttivo, si verifichi nell'ambito di un'area in un certo periodo di tempo partendo dal locale e complessivo contesto geostrutturale e geomorfologico (Tanzini M., 2001; Scesi *et alii*, 2003); il rischio connesso, di conseguenza, si riferisce al danno materiale ed umano potenzialmente prodotto relativamente al bene esposto (Panizza, 1987; 2003; Toseroni, 1992; Scesi *et alii*, 2003; Gisotti e Zarlenga, 2004). Ma è proprio nella valutazione della pericolosità, aspetto per me fondamentale nelle procedure di pianificazione e salvaguardia territoriale, che entra in gioco una profonda conoscenza della storia geologica del territorio fino al dettaglio e dei principali fattori di controllo che influenzano i fenomeni pericolosi e/o eccezionali. In generale, per quanto attiene alla applicazione delle specifiche procedure, le valutazioni del pericolo da frana possono essere di due tipi (Gisotti & Zarlenga, 2004), a carattere regionale e locale. Le prime utilizzano gli strumenti della osservazione diretta in campagna e/o con il supporto di attività fotointerpretative; le seconde fanno ricorso a specifiche indagini geognostiche e rilevamenti geostretturali di dettaglio. In tal senso, le prime si rilevano limitate e/o insufficienti per aree che possono definirsi strategiche, per il grado di pericolosità e/o vulnerabilità, consentendo, tuttavia, di ottenere una preliminare visione, di ordine qualitativo e probabilistico, rispetto alle tendenze morfoevolutive di un determinato territorio. In questo, va evidenziato, il valido supporto fornito dalle indagini storiche (Mele & Del Prete, 1999) e dall'allestimento di una banca dati ai fini di un supporto conoscitivo degli eventi franosi in termini statistici. Non a caso, l'antico e tuttora corrente, toponimo dell'area interessata dall'evento franoso preso in esame, è "Ruotolo" da "rotolare". Molti altri blocchi sono disseminati lungo il versante e sul fondale del settore di mare antistante (Tocaceli, 1992). Le seconde, per attività di pianificazione su aree vaste, diventano, da un punto di vista economico e logistico, di difficile applicazione, per la necessità di impiegare strumentazioni geognostiche. In questo senso, si conferma, a mio giudizio, come risultato fondamentale la figura del geologo rilevatore ed una approfondita ed esperta conoscenza geologica di aree ad alta criticità, unitamente ad una maggiore attenzione nei riguardi dei

cosiddetti "fattori di soglia" (*fattori predisponenti, innescanti e spazio-temporali*) al fine di migliorare le attività di previsione e di attenuazione delle condizioni di danno e di rischio.

BIBLIOGRAFIA, CITATA E CONSULTATA

- AMADESI E. & VIANELLO G. (1985), *Metodologia per la realizzazione di una carta della stabilità*. Geologia Applicata e Idrogeologia, vol. XX, parte II.
- AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M., MOTTERAN G. (1996), *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione*. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Servizio Geologico, Miscellanea, VII, pp. 109.
- AA.VV. (1998), *L'Appennino campano-lucano nel quadro geologico dell'Italia Meridionale*. 74° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana. Sorrento 13-17 Settembre 1988.
- BONARDI G., AMORE F.O., CIAMPO G., DE CAPOA P., MICONNET P. & PERRONE V. (1992b), *Il Complesso Ligure Auct.: stato delle conoscenze e problemi aperti sulla sua evoluzione pre-appenninica ed i suoi rapporti con l'Arco Calabro*. Mem. Soc. Geol. It., **41** (1988), (1): 17-35, 14 figg., Roma.
- BONI M. (1974), *Le argille rosse continentali del passaggio Paleocene-Miocene nella piattaforma carbonatica campano-lucana*. Boll. Soc. Geol. It., **93** (4): 1059-1094, 16 figg., 1 tab., Roma.
- BONI M., STANZIONE D. & ZENONE F. (1978), *I depositi argillosi dal Cretacico superiore al Miocene inferiore nella piattaforma carbonatica Campano-lucana: variazioni mineralogiche ed evoluzione paleoambientale*. Rend. Accad. Sci. Fis. Mat., ser. 4, **45**: 317-337, 8 figg., Napoli.
- CAIAZZO C., ASCIONE A. & CINQUE A. (2006), *Late Tertiary-Quaternary tectonics of the Southern Apennines (Italy): New evidences from the Tyrrhenian slope*. Tectonophysics, **421**, 23-51.
- CARRARA A., D'ELIA B. & SEMENZA E. (1985), *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. Geologia Applicata e Idrogeologia, n. 20, Bari.
- CRUDEN D. M. & VARNES D. J. (1996), *Landslide Type and Processes*. Special Report n. 247. Landslide Investigation and Mitigation (A. Keith Turner and R. L. Schuster, eds.). TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T. & SCANDONE P. (1973), *Schema geologico dell'Appennino Meridionale (Campania e Lucania)*. Atti Accad. Naz. Lincei, Quad. 183, 49-72.
- GISOTTI G. & ZARLENGA F. (2004), *Geologia Ambientale*. Principi e metodi. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- IPPOLITO, F., D'ARGENIO, B., PESCATORE, T. & SCANDONE, P. (1975), *Structural-stratigraphic units and tectonic framework of Southern Apennines*. In "Geology of Italy": 317-328. Earth Sciences Soc. of Libyan Arab. Republic.
- MARTINI I.P., SAGRI M. & COLELLA A. (2001), *Neogene-Quaternary basins of the inner Apennines and Calabrian arc*. In: Vai G.B. & Martini (eds.), Anatomy of an orogen: the Apennines and adjacent mediterranean basins, 375-400. Kluwer Academic Publishers.
- MELE R. & DEL PRETE S. (1999), *L'influenza dei fenomeni di instabilità di versante nel quadro morfoevolutivo della costa dell'Isola d'Ischia*. Boll. Soc. Geol. It., **118**, 339-360.
- MENARDI NOGUERA A. & REA G. (2000), *Deep structure of the Campanian-Lucanian Arc (Southern Apennine, Italy)*. Tectonophysics, **324**, 239-265.
- NICOLAI C. & GAMBINI R. (2007), *Structural architecture of the Adria platform-and-basin system*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec., **7**, 21-37, 15 figg., 1 pl., Roma.
- ORTOLANI F., PENNETTA M. & TOCCACELI R. M. (1997), *Evoluzione morfostrutturale pleistocenico-olocenica del Golfo di Policastro e movimenti di massa profondi*. Geografia Fisica & Dinamica Quaternaria, **20**, 101-105, 5 ff.
- PANIZZA M. (1987), *Il ruolo della geomorfologia sulla valutazione d'impatto ambientale*. Atti 6, Congr. Naz. Ord. Geol. Venezia, Settembre 1987.
- PANIZZA M., PIACENTE S. (2003), *Geomorfologia culturale*. Pitagora Ed.
- PENNETTA M. (1996), *Margine tirrenico orientale: morfologia e sedimentazione tardo-pleistocenica-olocenica del sistema piattaforma-scarpata tra Capo Palinuro e Paola*. Boll. Soc. Geol. It., **115**, 339-354.
- SCESI L., PAPINI M. & GATTINONI P. (2003), *Geologia Applicata. Applicazioni ai progetti di ingegneria civile*. Vol. 2, Casa Editrice Ambrosiana.
- TANZINI M. (2001), *Fenomeni franosi e opere di stabilizzazione*. Collana di geotecnica e Ingegneria Geotecnica. Dario Flaccovio Ed.
- TOCCACELI R.M. (1992), *Principali elementi morfostrutturali del tratto di costa sommerso tra Sapri e la foce del Fiume Noce (Golfo di Policastro)*. Giorn. Geol., ser. 3, **54**(2), 91-101.
- TOSERONI F. (2009), *Protezione e difesa civile. Storia, organizzazione, pianificazione ed analisi delle minacce future*. EPC Libri.
- VAI G.B. (2001), *Structure and stratigraphy: an overview*. In Vai G.B. & Martini (eds.), Anatomy of an orogen: the Apennines and adjacent mediterranean basins, 15-32. Kluwer Academic Publishers.
- VARNES D. J. (1978), *Slope Movements Type and Processes*, Special Report n. 176: Landslides Analysis and Control (R. L. Schuster e J. Krizek, eds) TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11-33.

Il dissesto idrogeologico in Calabria: dati disponibili e loro possibili applicazioni

OLGA PETRUCCI
CNR-IRPI, COSENZA
e-mail: o.petrucci@irpi.cnr.it

ANGELA AURORA PASQUA
CNR-IRPI, COSENZA

RIASSUNTO

Vengono presentati i risultati di un'attività di ricerca avviata nel 2000 e volta a ricostruire la serie storica dei fenomeni di dissesto idrogeologico verificatisi negli ultimi secoli in Calabria. Si descrivono le principali applicazioni effettuate sulla base dei dati disponibili e le loro possibili utilizzazioni future.

1. INTRODUZIONE

In Calabria, le piogge delle stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010 hanno causato ingenti danni, provocando esondazioni fluviali, dissesti di piccole e medie dimensioni su ampi settori regionali (Petrucci et al., 2010a) e fenomeni franosi di proporzioni notevoli, come l'ormai nota frana di Maierato. Durante le suddette stagioni si sono verificati due *Eventi Alluvionali (EA)*, ovvero piogge intense e prolungate che hanno innescato fenomeni di dissesto idrogeologico, quali frane e piene fluviali, responsabili di danni a beni e/o persone.

La storia della Calabria è costellata di tali eventi: essi rappresentano un freno allo sviluppo del territorio e incidono in modo decisivo sulla sicurezza e sulla qualità della vita. Le caratteristiche degli EA pregressi, sia in termini di piogge innescanti che di dissesti innescati, l'individuazione delle aree potenzialmente vulnerabili da tali fenomeni e la previsione dei possibili danni sono elementi indispensabili per pianificare correttamente lo sviluppo urbanistico regionale. Ciononostante, nelle dovute sedi, la *memoria storica* riguardo ad essi non è alimentata, e questo è uno dei principali problemi che contribuiscono al perpetrarsi dei danni da essi indotti. Al contrario, l'attenzione pubblica è assorbita dagli eventi del presente, valutati *eccezionali* senza un preventivo confronto con situazioni analoghe verificatesi in passato. Un po' come descritto ne *Il secondo libro della giungla* (Rudyard Kipling, 1895): *Io Sciacallo nacque in agosto. Le piogge caddero in settembre. Uno spaventoso diluvio come questo - esso disse - non l'ho visto mai!*

L'attenzione su questi argomenti è viva nell'immediatezza dell'evento ma svanisce in tempi brevi, e ciò che è accaduto nel passato è sistematicamente rimosso: gli eventi più

gravi si manifestano a distanza di anni o di decenni, intervallati da periodi di calma relativa in cui è facile dimenticare. In tal modo svanisce il ricordo di quel che è accaduto e la consapevolezza di quel che potrebbe accadere. Se una frana o una piena si verificano ai nostri giorni, la notizia è diramata dai notiziari e le immagini più spettacolari, nel bene e nel male, sono disponibili su internet per giorni. L'abbondanza di informazioni relative al presente e la carenza di dati su quanto avvenuto in passato determinano l'impressione che il dissesto idrogeologico sia un fenomeno sviluppatosi ai nostri giorni. In realtà non è così, e le ricerche svolte in questo settore negli ultimi trenta anni lo dimostrano ampiamente.

Sin dagli anni '70, che segnano l'inizio in Calabria dell'attività dell'IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, sono state avviate ricerche volte a portare alla luce testimonianze di eventi passati e dei loro effetti sul territorio calabrese. In questo Istituto, alcuni ricercatori svolgono la loro attività prevalentemente in tale settore, per garantire la condivisione del maggior numero possibile di dati da utilizzare come base per le ricerche presenti e future.

Nella nota si fa il punto sui dati attualmente disponibili per la Calabria e sulle loro possibili modalità di utilizzo in una gestione del territorio volta alla mitigazione degli effetti dei fenomeni di dissesto idrogeologico.

2. RICERCHE STORICHE SUL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN CALABRIA

In Calabria non esiste alcun ente preposto alla raccolta di dati sui fenomeni di dissesto idrogeologico – presenti o passati – malgrado sia noto che disporre di una serie continua ed omogenea di tali dati consentirebbe di formulare ipotesi ragionevoli circa l'entità degli eventi da temere, la loro ricorrenza e le piogge in grado di innescarli. Gli unici riferimenti storici sono i più gravi EA che hanno colpito la regione, i quali, essendo abbastanza recenti e avendo causato ingenti danni, sono ormai entrati a far parte della memoria storica collettiva sia della popolazione che dei decisori. Numerosi calabresi, giovani e meno giovani, ricordano l'evento alluvionale di Soverato del

2000 e quello di Crotona del 1996, ma un numero molto più esiguo di persone ha memoria diretta o conoscenza indiretta delle catastrofiche alluvioni del 1951 e del 1953, anche fra i tecnici che operano nel settore pubblico o privato sul territorio regionale.

In questo contesto, nel 2000 è stata avviata una indagine storica sistematica, finalizzata a portare alla luce il maggior numero possibile di dati relativi ai fenomeni di dissesto idrogeologico verificatisi in passato in Calabria e ad aggiornare sistematicamente il loro inventario in caso di accadimenti analoghi ai nostri giorni.

2.1 CREAZIONE DELLA BANCA DATI ASICAL

Nel 2000, nell'ambito di una collaborazione fra il CNR-IRPI di Cosenza e l'Osservatorio di Documentazione Ambientale del Dipartimento di Difesa del Suolo dell'Università della Calabria, è stata avviata un'attività sistematica di raccolta e archiviazione di dati relativi ai dissesti storici calabresi. Il primo blocco di dati è stato estratto dalle pubblicazioni tecnico scientifiche realizzate presso l'IRPI di Cosenza. E' stata quindi consultata una serie di scritti storici sul dissesto idrogeologico in Calabria e le storiografie dei centri abitati regionali, disponibili nelle varie biblioteche calabre, estraendo ulteriori dati sui dissesti pregressi. I dati raccolti sono stati organizzati in record, ognuno dei quali riportante l'individuazione di quando -*anno, mese e giorno*- e dove -*provincia, comune e località*- un determinato fenomeno di dissesto si era manifestato. Il tutto corredato dalla trascrizione di quanto accaduto, sia in termini di fenomeni che di danni a beni o persone, ed integrato da immagini o foto, se disponibili (Fig. 1). Questi dati sono stati trasformati nella banca dati denominata ASICal (Aree Storicamente Inondate in Calabria) che è stata subito resa pubblica (<http://www.camilab.unical.it>).

2.2 CREAZIONE DELL'ARCHIVIO STORICO DELL'IRPI DI COSENZA

Nel 2005, in base ad accordi di collaborazione con l'ex Ufficio del Genio Civile di Cosenza e l'Ufficio regionale dei Lavori Pubblici, stipulati con il Nullaosta della Soprintendenza Archivistica Regionale, è stata acquisita una

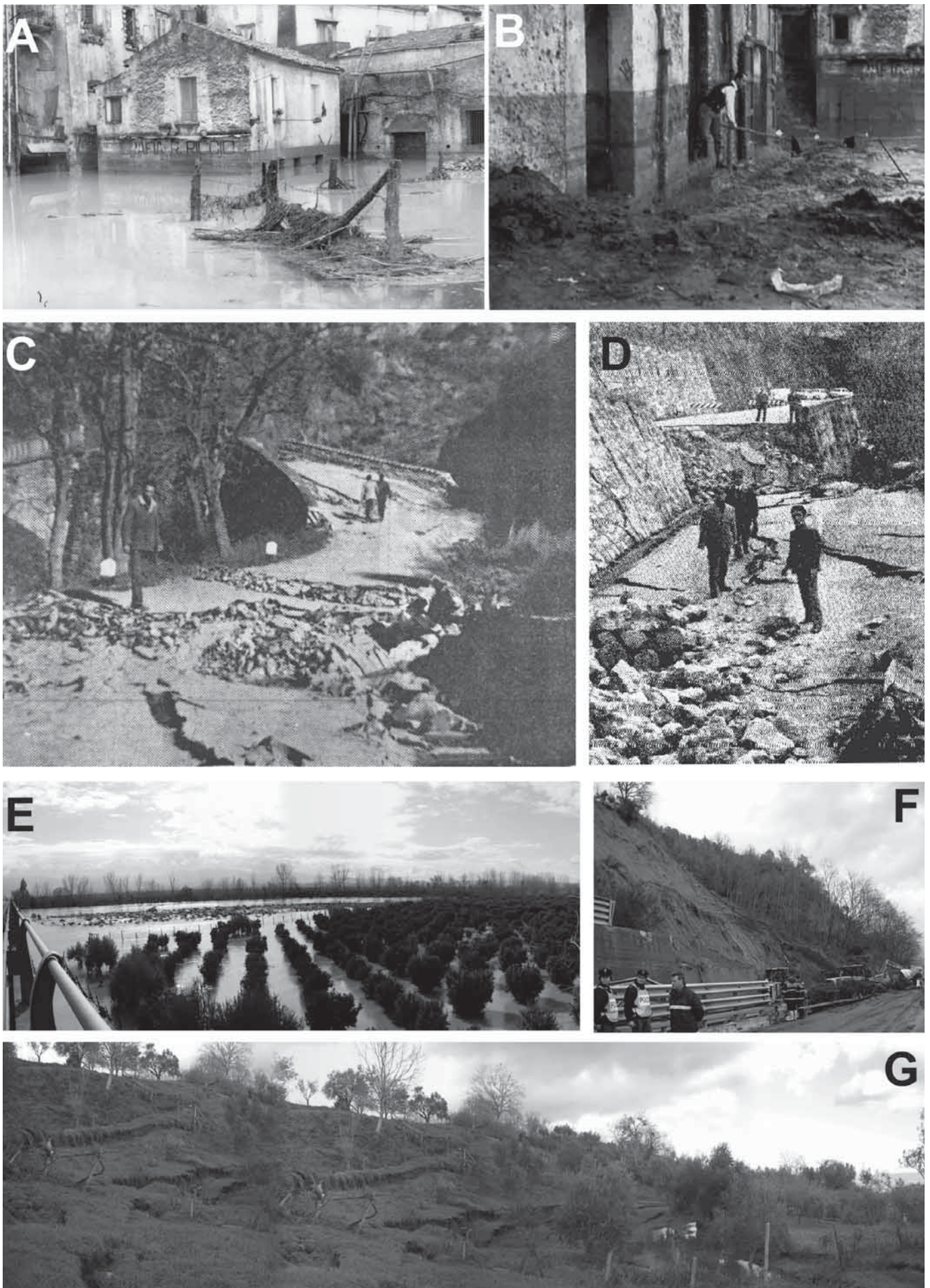


Figura 1 – Documentazione fotografica di alcuni fenomeni di dissesto idrogeologico calabresi. A and B: effetti causati dalla piena del fiume Crati nella città di Cosenza durante l'EA del 1959 (HistArc). In A, si osserva che il primo piano è stato quasi completamente coperto dall'acqua; in B, la traccia del livello raggiunto dall'acqua è visibile sul muro vicino all'uomo intento a pulire la strada. In C e D, effetti dell'EA del dicembre 1972-gennaio 1973 lungo la rete viaria, presso Reggio Calabria (C) e Cosenza (D) (La Gazzetta del Sud). In E, F, e G, effetti dell'EA del dicembre 2008-gennaio 2009 in provincia di Cosenza (Foto: O. Petrucci). E: la piena del fiume Crati, presso la foce, inonda un aranceto; F: la frana lungo l'autostrada A3 che ha ucciso due persone; G: frana in contrada Palazzello di Lattarico.

grossa mole di materiale documentale relativo all'attività dei suddetti enti fra la fine dell'800 e il 1990.

Parallelamente sono stati stipulati accordi con l'Archivio di Stato di Cosenza: l'intero Fondo Archivistico del Genio Civile, rappresentato da documenti relativi alle province di Cosenza e Crotona, di età variabile fra la fine dell'800 e il 1980, è stato acquisito in fotocopia.

Dopo una lunga e paziente opera di catalogazione, durata circa due anni, HistArc è diventato un archivio cartaceo organizzato per comune. I documenti riguardano essenzialmente fenomeni di dissesto idrogeologico verificatisi negli ultimi due secoli, interventi di consolidamento *a spese e cura dello Stato* effettuati in varie epoche in molti centri storici, o l'attività di bonifica delle aree di pianura e di sistemazione idraulico forestale dei bacini fluviali effettuata nell'ambito del piano della CASMEZ. Una cospicua mole di documenti è rappresentata da richieste di intervento e/o risarcimento danni, inoltrate da privati cittadini o dai sindaci al Genio Civile, cui fanno seguito visite di sopralluogo testimoniate da verbali o relazioni tecniche redatte da funzionari ministeriali, le quali, oltre alla descrizione dei fenomeni, riportano dati attendibili sui danni indotti.

Attualmente si sta procedendo alla informatizzazione del materiale presente in tale archivio, dando priorità ad esigenze specifiche legate a convenzioni stipulate dall'IRPI di Cosenza per la realizzazione di studi e ricerche su settori regionali interessati da fenomeni di dissesto in atto.

2.3 MONITORAGGIO DEI QUOTIDIANI REGIONALI

Un'ulteriore mole di dati è stata acquisita mediante lo spoglio sistematico dei quotidiani regionali. In Calabria, il quotidiano regionale caratterizzato dal più ampio periodo di pubblicazione è *La Gazzetta del Sud*. Tale testata è disponibile a partire dal 1952, mentre per il periodo antecedente non esistono quotidiani dotati di una continuità tale da poter essere sottoposti ad uno spoglio sistematico. In base ad accordi con la Direzione della sede di Cosenza de' *La Gazzetta del Sud* è stato possibile effettuare lo spoglio sistematico delle copie cartacee fino al 1998. Per il periodo dal 1998 ad oggi, è stato consultato l'archivio on-line del suddetto quotidiano, anche integrando le notizie con gli articoli pubblicati dal 1995 ad oggi da un'altra testata regionale, *Il Quotidiano della Calabria*.

Una volta acquisiti i dati relativi al passato, si è proceduto ad implementare un sistema di monitoraggio degli eventi attuali. Mediante abbonamento on-line ai quotidiani regionali e tramite una serie mirata di *web alert* che ci inviano notizie di dissesti pubblicate da

agenzie di stampa o da associazioni locali, si raccolgono sistematicamente, e quasi in tempo reale, notizie sui dissesti che colpiscono il territorio calabrese. Nei casi più gravi, come negli EA citati nell'introduzione, ulteriori dati sono estratti dalle relazioni di sopralluogo effettuate da ricercatori del CNR-IRPI di Cosenza o da personale della Protezione Civile.

2.4 INDIVIDUAZIONE E VERIFICA DELLE LACUNE SPAZIO-TEMPORALI

I dati storici, per loro natura, possono presentare delle lacune dovute a perdite materiali o ad oscillazioni delle condizioni di produzione degli enti da cui i documenti provengono. Inoltre, la serie storica che si riesce a ricostruire non rappresenta "tutti" i fenomeni di dissesto che hanno colpito un'area, ma soltanto un sotto-insieme di fenomeni, caratterizzati da gravità superiore ad una data soglia. In pratica resta traccia solo di quei dissesti che siano stati responsabili di danni a beni o a persone.

L'analisi della serie storica attualmente disponibile per la Calabria viene effettuata periodicamente, al fine di individuare le lacune spazio-temporali in essa contenute, ovvero i periodi per i quali, per l'intera regione o per specifici settori territoriali, non sono presenti dati di fenomeni di dissesto idrogeologico.

In base alle conoscenze sulle modalità di sviluppo dei dissesti in Calabria, la probabilità di accadimento di dissesti è più elevata per la stagione autunno-invernale, in cui si concentra la percentuale più consistente delle piogge annue. Tuttavia, non è detto che in estate o in primavera non si verifichino dissesti. Proprio per questo motivo, occorre verificare se i periodi per i quali non si dispone di dati rappresentino delle lacune nella serie storica o dei periodi esenti da dissesti. Pertanto, sulle presunte lacune si effettuano delle indagini mirate, dapprima in HistArc e poi in archivi e fonti storiche non ancora analizzate.

3. LA SERIE STORICA DEL XX SECOLO

La serie storica ricostruita per il XX secolo, grazie alla notevole quantità di dati acquisiti e ai controlli incrociati effettuati fra diverse fonti di informazione, presenta una attendibilità soddisfacente. Il numero totale di record è passato dagli iniziali 3241, disponibili nel 2000, ai 4139, inseriti nel 2005, fino agli attuali 7696.

Escludendo i primi due decenni del secolo, la quantità di dati inserita per decennio ha subito negli anni un incremento costante. La ricerca ha portato alla luce alcuni EA mai citati o sottovalutati dalle fonti tecnico-scientifiche disponibili in letteratura. Un evento di magnitudo sottostimata è ad esempio quello del 1935, che danneggiò 50 comuni provocando

49 vittime. Un evento del tutto sconosciuto è invece quello verificatosi nel 1957, che colpì 159 comuni causando 14 vittime.

Usando le segnalazioni del XX secolo, è stato valutato per ognuno dei 409 comuni della Calabria, il numero di segnalazioni di frane e piene reperite. Per ogni tipo di fenomeno è stato calcolato il numero medio di segnalazioni per comune e sono stati eliminati i comuni caratterizzati da un numero di fenomeni inferiore al relativo valore medio. È stato valutato l'intervallo fra il massimo ed il minimo numero di segnalazioni per ognuno dei due tipi di fenomeni ed è stato suddiviso in tre classi di frequenza: bassa, media ed alta. Quindi, i suddetti comuni sono stati classificati in base alla frequenza delle segnalazioni dei due tipi di fenomeni (Fig. 2). In base a tale semplice elaborazione, emerge che il 43% dei comuni calabresi presenta fenomeni di dissesto idrogeologico che mostrano una frequenza superiore alla media, un dato sufficiente ad inquadrare l'entità del problema dissesto idrogeologico in Calabria e la quantità di dati disponibili a testimonianza di ciò.

4. APPLICAZIONI

I dati raccolti nel corso degli anni sono stati pubblicati sotto forma di cataloghi relativi a specifici intervalli temporali, come per gli *Eventi alluvionali in Calabria nel decennio 1971-1980* (Petrucci et al., 1996), *Gli eventi alluvionali calabresi di dicembre 2002-gennaio 2003* (D'Andrea e Petrucci, 2003) e *Frane e alluvioni in provincia di Cosenza* (Petrucci e Versace, 2005; 2007; Petrucci et al., 2009).

Parte delle applicazioni è stata finalizzata alla realizzazione di pubblicazioni scientifiche volte alla caratterizzazione degli EA tipici di determinati settori regionali, in funzione dei dissesti innescati, delle piogge innescanti, dei danni indotti (Petrucci e Polemio, 2003; Petrucci e Pasqua, 2008; Petrucci et al., 2009) e del quadro meteorologico preparatorio (Petrucci e Polemio, 2009), anche nell'ottica del cambiamento climatico (Petrucci e Polemio, 2007). Ulteriori utilizzazioni sono state focalizzate sulla serie storica delle frane, analizzando le loro relazioni con le piogge antecedenti e individuando alcuni scenari-tipo (Petrucci e Pasqua, 2009; Polemio e Petrucci, 2010; Petrucci e Pasqua, 2010; Petrucci e Polemio, 2010), mentre altre hanno riguardato la serie storica delle piene fluviali (Petrucci e Polemio, 2007; Petrucci et al., 2010b).

Ciononostante, i settori di applicazione della serie storica disponibile che restano ancora inesplorati sono diversi, soprattutto a livello tecnico.

Gli addetti al settore della *pianificazione territoriale* sono certamente dei possibili fruitori di questo genere di dati e ricerche. La conoscenza delle aree esposte a pericolo di

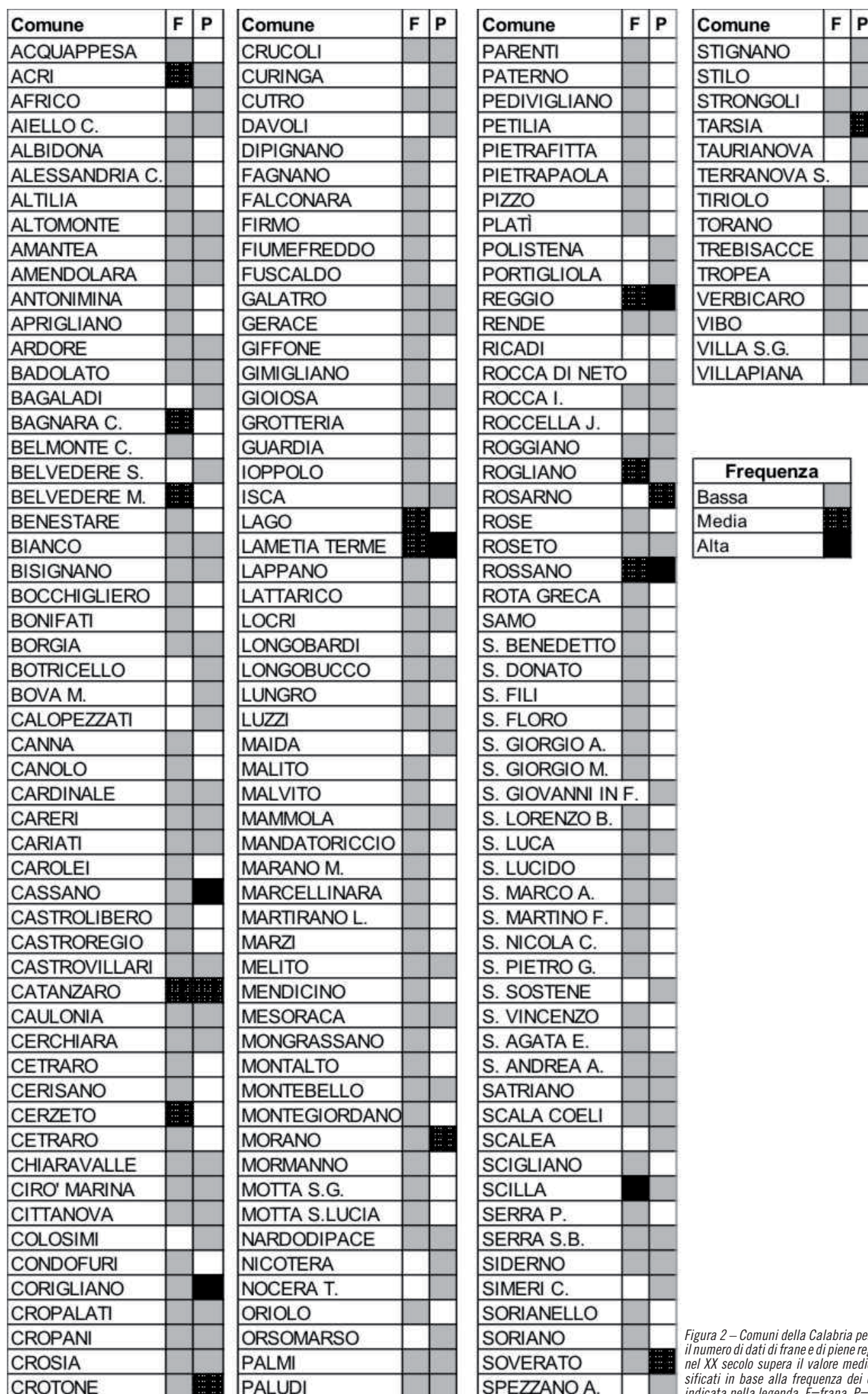


Figura 2 – Comuni della Calabria per i quali il numero di dati di frane e di piene registrate nel XX secolo supera il valore medio, classificati in base alla frequenza dei dissesti indicata nella legenda. F=frana, P=piena.

frane ed inondazioni fluviali rappresenta la base conoscitiva per effettuare scelte pianificatorie corrette. La sistematicità con cui determinati settori vengono colpiti, a volte rivelata da toponimi che evocano immagini di instabilità o di paludismo, favorisce il compito di chi deve operare scelte di pianificazione territoriale, indicando indirettamente i luoghi da non destinare ad espansione urbanistica e da utilizzare solo per scopi che tengano conto della loro naturale "vocazione".

Anche la *valutazione dell'impatto degli eventi alluvionali* si basa sui dati storici: essi rappresentano l'unica fonte per stimare i danni indotti dai dissesti pregressi e tarare metodologie di previsione del danno futuro. E' difficile valutare il costo socio-economico degli EA poiché ad ogni evento sono legati sia danni a persone o cose che sospensioni, per periodi più o meno prolungati, delle attività produttive presenti sul territorio o loro rallentamenti legati alle interruzioni della rete viaria. Ciononostante, i dati raccolti, specialmente quelli relativi alle richieste di risarcimento danni, consentono di tracciare un quadro attendibile delle risorse richieste all'epoca per fronteggiare i dissesti. Per gli eventi più documentati, i certificati di regolare esecuzione dei lavori richiesti e gli attestati di pagamento delle ditte incaricate dei lavori consentono di ricavare stime accurate dei fondi utilizzati nel post-evento. Le testimonianze più descrittive, reperibili nei quotidiani o nelle istanze di privati cittadini alle autorità, consentono di completare il quadro con indicazioni di massima anche sugli effetti intangibili, rappresentati dai disagi della popolazione sgomberata temporaneamente o definitivamente a causa dei dissesti.

Nell'impostazione dei *piani di protezione civile*, disporre di indicazioni circostanziate sui luoghi storicamente coinvolti da fenomeni di dissesto può scongiurare che la popolazione venga erroneamente ammassata in aree esposte a rischio anziché in zone sicure, oppure che si prevedano come vie di accesso alle aree di ammassamento tratti della rete viaria frequentemente affetti da frane o esondazioni.

In attività di *formazione e sensibilizzazione*, disporre di documentazioni e immagini sugli eventi pregressi consente inoltre di incrementare la consapevolezza della popolazione nei confronti del dissesto idrogeologico, favorendo l'attuazione di comportamenti auto-protettivi nel caso ci si trovi a fronteggiare una condizione di emergenza idrogeologica.

Infine, i dati storici consentono di realizzare un *catasto degli interventi di sistemazione dei versanti* che consente di valutare, anche per confronto con la serie storica delle frane, l'efficacia delle sistemazioni effettuate e di utilizzare tali valutazioni nella scelta di

interventi futuri da effettuare su situazioni e tipi di fenomeni simili.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati storici recuperati sui fenomeni di dissesto verificatisi in passato sul territorio calabrese hanno assunto una consistenza notevole: per il XX secolo, in particolare, sono disponibili oltre 10000 record relativi all'occorrenza di frane e piene fluviali responsabili di danni a beni e/o persone. Gli utilizzi di una siffatta serie storica, schematizzati nella nota, sono molteplici e consentono sostanziali avanzamenti nel settore scientifico e miglioramenti notevoli nella gestione del territorio.

La sensibilizzazione degli enti operanti sul territorio è duplice: da un lato sarebbe opportuno che prestassero maggiore attenzione ad iniziative volte a portare alla luce tali testimonianze e dall'altro gli stessi enti dovrebbero contribuire, con il materiale ammassato in archivi a volte completamente in disuso, a completare la serie storica attualmente disponibile.

BIBLIOGRAFIA

- D'ANDREA E., PETRUCCI O. (2003), *Gli eventi alluvionali calabresi di dicembre 2002-gennaio 2003*, CNR-GNDICI, Pubblicazione N. 2815. Editoriale Bios, Cosenza. ISBN 88-77-344-6, 161pp.
- PETRUCCI O., CHIODO G., CALOIERO D. (1996), *Eventi alluvionali in Calabria nel decennio 1971-1980*, Pubblicazione N. 1374 del GNDICI, Rubbettino Arti Grafiche, Soveria Mannelli (CZ), 142 pp.
- PETRUCCI O., PASQUA A.A. (2008), *The study of past Damaging Hydrogeological Events for damage susceptibility zonation*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 881-892.
- PETRUCCI O., PASQUA A.A. (2009), *A methodological approach to characterise Landslide Periods based on historical series of rainfall and landslide damage*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1655-1670.
- PETRUCCI O., PASQUA A.A., GULLÀ G. (2010a), *Landslide damage assessment using the Support Analysis Framework (SAF): the 2009 landsliding event in Calabria (Italy)*. ADGEO, 26, 13-17.
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2003), *The use of historical data for the characterisation of multiple damaging hydrogeological events*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 3: 17-30.
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2007), *Flood risk mitigation and anthropogenic modifications of a coastal plain (Sibari plain) in southern Italy: combined effects in the latest 150 years*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 7, 361-373.
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2009), *The role of meteorological and climatic conditions in the occurrence of damaging hydro-geologic events in Southern Italy*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 105-118.
- PETRUCCI O., POLEMIO M., PASQUA A.A. (2009), *Analysis of Damaging Hydrogeological Events: the case of the Calabria Region (Southern Italy)*, Environmental Management, 25, 483-495.
- PETRUCCI O., POLEMIO M., PASQUA A.A. (2010b), *Flash floods risk variation of steep drainage basins in Calabria (Italy) and the role of rainfall and anthropogenic modifications since 1800*. Global

Change: Facing Risks and Threats to Water Resources (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). IAHS Publ. 340, 2010: 103-110.

- PETRUCCI O., PASQUA A.A. (2010), *La franosità lungo la rete viaria calabrese: possibili utilizzazioni di un database storico*. Accademia dei Lincei, X Giornata Mondiale dell'Acqua Frane e Dissesto Idrogeologico: Consuntivo, 83-87, Roma 22 marzo 2010.
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2007), *Ricorrenza degli eventi alluvionali, dissesto idrogeologico e trend climatico nella Locride (Calabria SE)*, In: Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR, B. Carli, G. Cavarretta, M. Colacino and S. Fuzzi Editors, Consiglio Nazionale delle Ricerche, ISBN 978-88-8080-075-0, 747-750, Roma.
- PETRUCCI O., POLEMIO M. (2010), *Piovosità, franosità e aree montane poco sviluppate: il caso dell'alto Ionio cosentino*. Accademia dei Lincei, X Giornata Mondiale dell'Acqua Frane e Dissesto Idrogeologico: Consuntivo, 65-70, Roma 22 marzo 2010.
- PETRUCCI O., VERSACE P. (2005), *Frane e alluvioni in provincia di Cosenza agli inizi del '900: ricerche storiche nella documentazione del Genio Civile*. Editoriale Bios, Cosenza (Italy), ISBN 88-7740-391-8, 172pp, http://books.google.it/books?id=HwSxbxcEE4C&pg=PA8&dq=frane+alluvioni+in+calabria&hl=it&ei=Dz9aTcCXBMOGhQfFocT8DA&sa=X&oi=book_result&ct=book_thumbnail&resnum=7&sqi=2&ved=0CEgQ6wEwBg#v=onepage&q=frane%20alluvioni%20in%20calabria&f=false.
- PETRUCCI O., VERSACE P. (2007), *Frane e alluvioni in provincia di Cosenza tra il 1930 e il 1950: ricerche storiche nella documentazione del Genio Civile*. Nuova Bios, Cosenza (Italy). http://books.google.it/books?id=Svi5EWFJKJ0gC&pg=PA10&dq=frane+alluvioni+in+calabria&hl=it&ei=Dz9aTcCXBMOGhQfFocT8DA&sa=X&oi=book_result&ct=book_thumbnail&resnum=6&sqi=2&ved=0CEMQ6wEwBQ#v=onepage&q=frane%20alluvioni%20in%20calabria&f=false.
- PETRUCCI O., POLEMIO M., PASQUA A.A. (2009), *Frane e alluvioni in provincia di Cosenza fra il 1951 ed il 1960: ricerche storiche nella documentazione del Genio Civile*. Rubbettino, Soveria Mannelli (Italy), 316 pp. http://books.google.it/books?id=z3xMMdVxBf4C&printsec=frontcover&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- POLEMIO M., PETRUCCI O. (2010), *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2010; v. 43; p. 403-415 doi:10.1144/1470-9236/09-006.

TERZA SESSIONE
MITIGAZIONE DEL RISCHIO
IDROGEOLOGICO
INTERVENTI STRUTTURALI

La grande frana di San Fratello (ME) del 14 febbraio 2010

Analisi del contesto, interventi e monitoraggio

BASILE GIUSEPPE
Geologo, Dipartimento della Protezione Civile
della Regione Siciliana

CAFISO FABIO
Ingegnere, libero professionista

LO MONACO PIETRO
Ingegnere, Dipartimento della Protezione Civile
della Regione Siciliana

PANEBIANCO MARINELLA
Architetto, Dipartimento della Protezione Civile
della Regione Siciliana

SOMMARIO

Il 14 febbraio 2010 si è verificato nel territorio di San Fratello (ME) uno degli eventi franosi più devastanti mai registrato in Sicilia, per estensione e per danni provocati al patrimonio edilizio. La frana, che si articola in movimenti distinti ma complementari, alcuni dei quali riattivazioni di frane storiche, interessa un'area di circa 120 ha. Nello studio del dissesto si è fatto ricorso anche a tecnologie innovative, tra le quali un radar da terra per il monitoraggio continuo degli spostamenti dell'area in frana e nell'intorno della stessa. Anche nella scelta degli interventi si è fatto riferimento a soluzioni innovative; in particolare, per realizzare trincee drenanti profonde senza effettuare scavi nel pendio in frana, si è fatto ricorso a pali secanti di calcestruzzo alveolare della profondità di m 12. Sono stati, altresì, previsti pozzi strutturali di grande diametro collegati da paratie di pali ad arco, all'esterno del centro urbano, e paratie costituite da due file di pali con trincea drenante di tipo tradizionale, all'interno dell'abitato. È stato, infine, attivato il monitoraggio degli effetti degli interventi sulla frana e dei possibili cedimenti indotti dai drenaggi.

Parole chiave: frana, palo secante, drenaggio, pozzo, monitoraggio, protezione civile

INTRODUZIONE

Nell'inverno 2009-2010 si sono verificate precipitazioni eccezionali in tutta la Sicilia che hanno determinato l'acuirsi dei problemi di carattere idrogeologico che affliggono buona parte dell'isola, e segnatamente la provincia di Messina. Ed infatti, nei primi mesi del 2010, il comprensorio dei Nebrodi (ME) è stato interessato da numerosi eventi franosi che hanno causato gravissimi danni al patrimonio immobiliare, alle reti viarie, ai terreni coltivati. In particolare, il 14 febbraio 2010 nel pendio che delimita ad est il paese di San Fratello (Fig. 1) si è sviluppato un fenomeno franoso tra i più estesi e complessi verificatisi in Sicilia nell'ultimo secolo: la frana coinvolge un'area di circa 120 ettari, dei quali circa 10 all'interno del centro abitato; si riconoscono varie direttrici di movimento tra loro più o me-

no collegate e che, comunque, interferiscono le une con le altre; vengono interessate tre diverse formazioni geologiche, i cui contatti si sviluppano lungo faglie e sovrascorrimenti tettonici; il dissesto ha danneggiato oltre trecento edifici e distrutto alcune decine di fabbricati, determinando l'evacuazione di più di un migliaio di abitanti; le condotte dell'acqua potabile e della fognatura della zona orientale del paese sono state distrutte.

Per la ricostruzione dei modelli geologico e geotecnico si è fatto riferimento ad un complesso di attività comprendenti rilievi di campagna e strumentali, indagini in sito e in laboratorio e "back-analysis". Gli interventi previsti, in corso di esecuzione, sono mirati alla salvaguardia del centro abitato, discriminando le sorti del paese da quelle del pendio a valle, e comprendono anche il monitoraggio degli effetti delle opere sul movimento franoso e sugli edifici esistenti.

IL MOVIMENTO FRANOSO DEL 14 FEBBRAIO 2010

La frana ha avuto origine a valle, nelle porzioni inferiori del versante sinistro della media vallata del Torrente Inganno, e, in tempi estremamente contenuti (2 giorni), si è propagata verso monte, interessando successivamente la zona agricola alla periferia

orientale di San Fratello e, infine, i quartieri San Benedetto, Riana e Stazzone del centro abitato (Fig. 1).

Il dissesto, molto complesso in quanto comprende movimenti distinti seppure interdipendenti che si sviluppano per una lunghezza di circa 1500 metri e una larghezza in corona di circa 950 metri, ha coinvolto un'area che mostra evidenze geomorfologiche di antichi movimenti gravitativi multipli di cui si è persa memoria storica, se non per un non inequivocabile evento risalente al 1757 citato da Vito Amico (AMICO, 1855).

Nella Fig. 1 si distinguono:

- la zona A, nella quale ha avuto origine il dissesto le cui prime manifestazioni risalgono al 12 febbraio; tale area è caratterizzata da intense trasformazioni orografiche: le scarpate multiple, con altezza dell'ordine di una decina di metri, sono associate a rotazioni, traslazioni maggiori di 50 m, colate e rigonfiamenti;
- la zona B, nella quale si sviluppa un diffuso sistema di fratture nel terreno, con locali traslazioni di manufatti di entità intorno ai 10÷15 m; la porzione superiore del versante è segnata da scarpate multiple e scivolamenti, molto incisi e con altezza dell'ordine di una decina di metri,

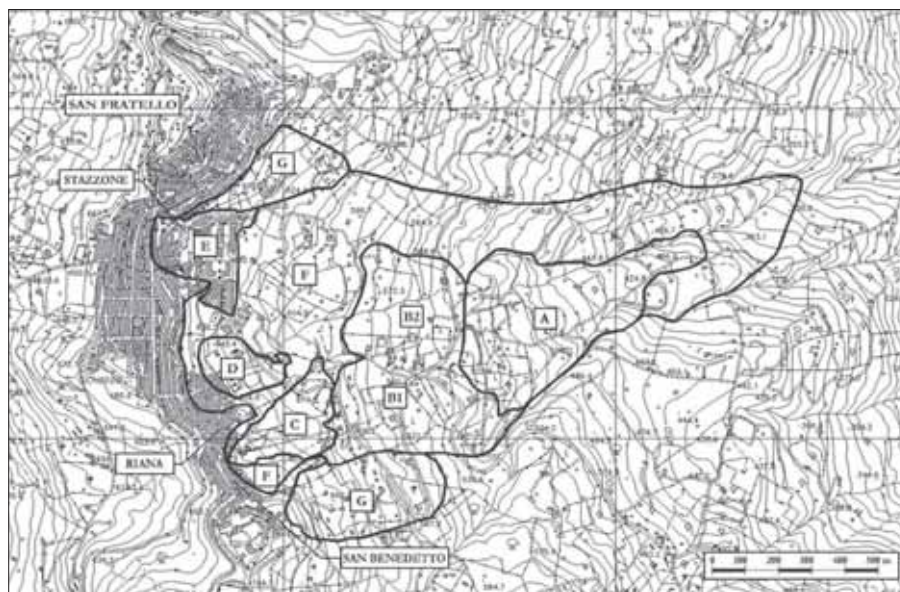


Figura 1 – Corografia con indicazione dell'area interessata dal movimento franoso, dei singoli dissesti e dei quartieri danneggiati.



Figura 2 – Agriturismo gravemente danneggiato nel quartiere San Benedetto.

- nel settore meridionale (B1), e progressivamente più modesti verso il settore settentrionale (B2);
- la zona C, che lambisce il quartiere San Benedetto, ove il dissesto, sebbene sia senz'altro da correlare a quanto accaduto più in basso (B1), ha una propria configurazione morfodinamica: infatti, si tratta di uno scivolamento rotazionale, che ha determinato una chiara nicchia di distacco con scarpata principale di altezza dell'ordine di 6 m a ridosso del centro abitato; gli edifici ubicati nel corpo di frana sono andati distrutti; quelli sul coronamento hanno subito danni da gravissimi a medi (figg. 2 e 3);
 - la zona D, comprendente il quartiere Riana; in essa sono presenti fessure di



Figura 4 – Quartiere Riana, alcuni aspetti del dissesto.

- trazione che nell'area urbanizzata hanno interessato gli edifici più vicini al bordo orientale (figg. 4 e 5) e hanno seriamente danneggiato le reti dei sottoservizi; in campo aperto, le fratture diventano più ampie e sono, talora, associate a modesti rigetti, che tendono ad attenuarsi procedendo verso valle;
- la zona E, pressoché interamente urbanizzata, comprende il quartiere Stazzone nel quale si sono verificati i danni più

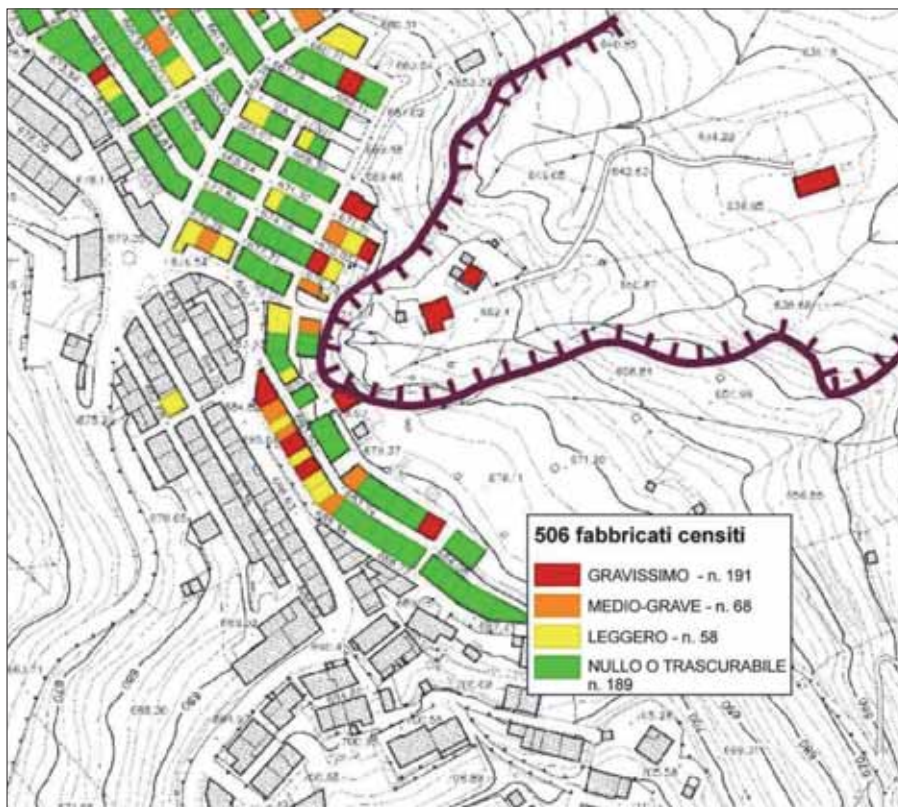


Figura 3 – Quartiere San Benedetto, censimento degli edifici danneggiati.

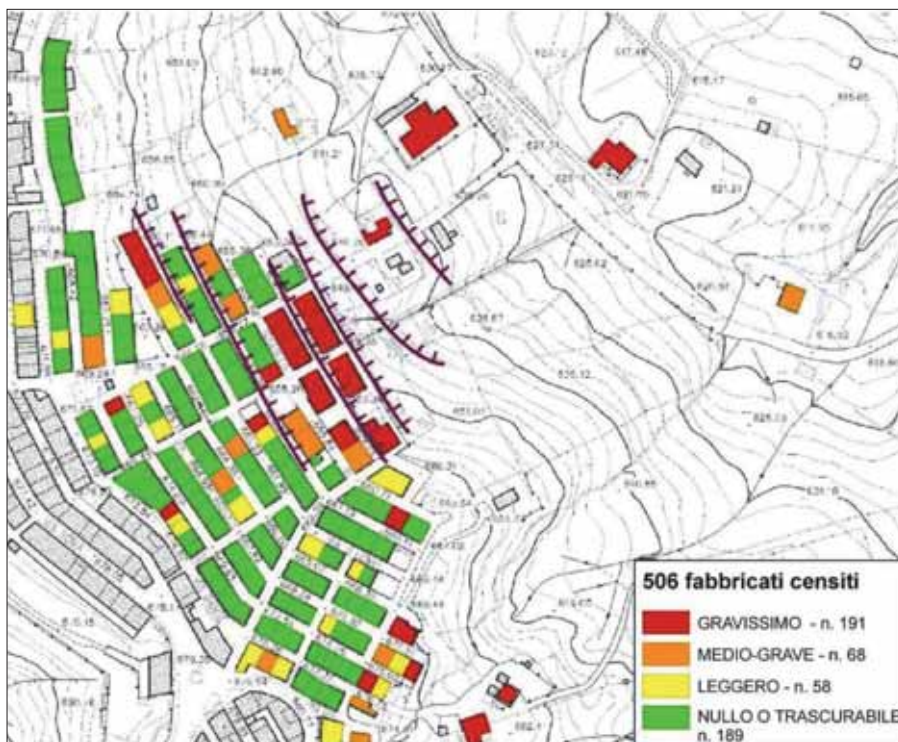


Figura 5 – Quartiere Riana, censimento degli edifici danneggiati.

rilevanti al patrimonio edilizio (Fig. 6). La presenza, a valle del quartiere, di una paratia di pali tirantata (Fig. 7) ha reso i segnali di dissesto non del tutto leggibili in chiave morfodinamica e, comunque, gli effetti della frana sono diversi da zona a zona: la porzione meridionale del quartiere è stata attraversata da un frattura, che ha comportato la distruzione degli edifici sovrastanti e la traslazione in blocco di interi isolati; nella parte centrale, gli ef-

fetti sull'edificato sembrano riconducibili a sollevamenti del piano campagna; nella porzione più alta del versante e, quindi, all'interno del centro storico, l'intera stecca di edifici, lato valle, della via Latteri, unica strada di accesso all'abitato di San Fratello, è interessata da un quadro fessurativo diffuso e molto evidente;

- l'area F, di ampia estensione, dove i dissesti rilevati sono probabilmente riconducibili alle citate frane storiche;



Figura 6 – Edifici distrutti nel quartiere Stazzone.

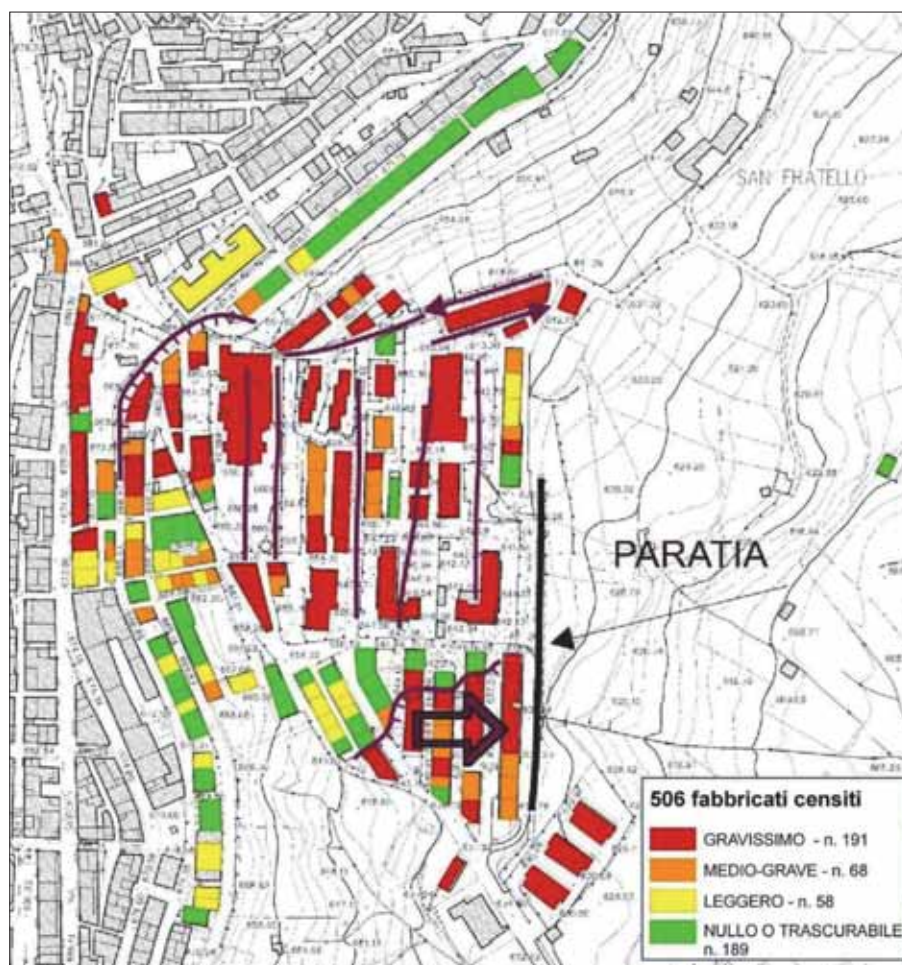


Figura 7 – Quartiere Stazzone, censimento degli edifici danneggiati.

- le due zone indicate con la lettera G, ove le deformazioni sono state apprezzate soltanto con i rilievi effettuati mediante il radar da terra, posizionato nel versante opposto a quello in frana dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

L'EMERGENZA E LE ANALISI DEL CONTESTO

Nelle prime fasi dell'emergenza, durante le quali è stata allontanata la popolazione e sono stati messi in sicurezza i beni ecclesiastici, le azioni poste in essere dal Comune, con il supporto tecnico, logistico ed economico del Dipartimento Regionale della Protezione Civile (DRPC), sono state orientate alla riparazione delle reti fognarie e acquedottistiche andate distrutte nei quartieri interessati dalla frana, al ripristino degli impluvi naturali ostruiti dalle colate o resi inefficaci dalle plasticizzazioni del versante e al monitoraggio speditivo, mediante fessurimetri, delle lesioni degli edifici.

Le attività, gestite dal Centro Operativo Comunale, sono state condotte con l'ausilio dei geologi liberi professionisti che, in forma volontaria e gratuita, hanno prestato la propria opera supportando il DRPC e occupandosi dei rilievi, del monitoraggio e dell'assistenza tecnica negli interventi.

Il quadro generale dei gravissimi effetti al suolo indotti dal movimento franoso facevano

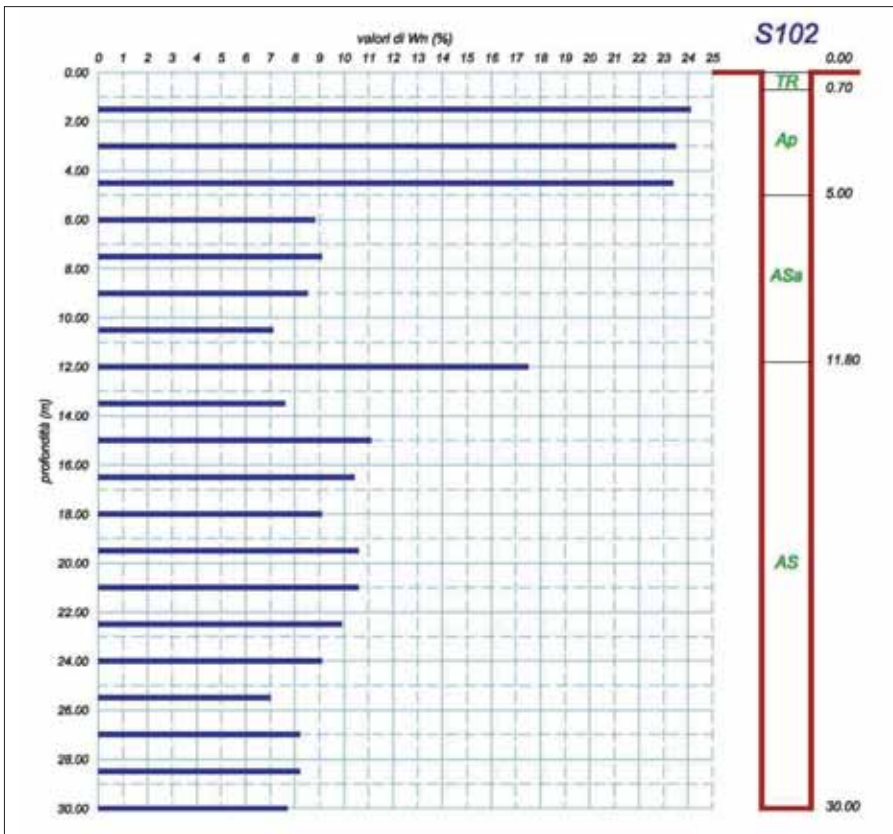


Figura 8 – Stratigrafia schematica del terreno e andamento di wn con la profondità nel quartiere San Benedetto.

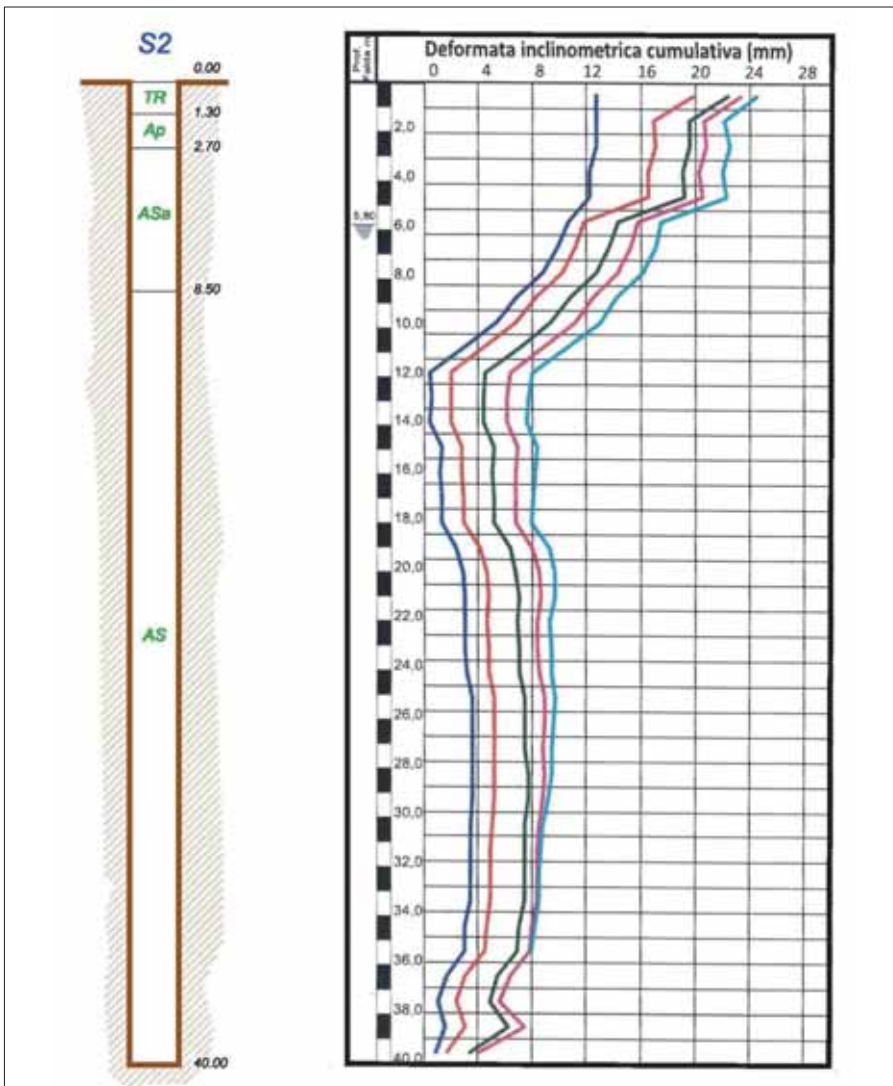


Figura 9 – Stratigrafia schematica del terreno e deformate inclinometriche nel quartiere San Benedetto.

temere che l'abitato di San Fratello o parte di esso dovesse essere evacuato e delocalizzato; il paventarsi di tale eventualità ha determinato serie preoccupazioni nell'intera comunità, fortemente radicata nel territorio e che ancora ricorda i tragici eventi del 1922 quando una frana distrusse una porzione di abitato posta sul versante opposto, tali da comportare anche forti tensioni sociali.

A tale riguardo, è necessario precisare che l'abitato di San Fratello si sviluppa lungo il crinale che separa i bacini idrografici del T. Inganno a est e del T. Furiano a ovest e che i versanti che degradano verso valle sono ovunque interessati da frane quiescenti o attive; di conseguenza, lo spazio per l'ubicazione di ulteriori insediamenti abitativi è davvero ridotto. L'ipotesi "intervento zero", anche volendo trascurare i traumi sul sistema socio-economico locale, poneva la questione della salvaguardia delle porzioni del centro abitato non ancora interessate dagli effetti della frana ma che avrebbero potuto subire danneggiamenti a seguito di fenomeni di arretramento progressivo del dissesto.

Pertanto, gli sforzi interpretativi erano volti alla comprensione dei possibili meccanismi di innesco del fenomeno franoso affinché si potesse ipotizzare la sua evoluzione verso monte e, di conseguenza, individuare gli interventi strutturali orientati a scongiurare l'abbandono forzato del paese.

Successivamente, a seguito degli approfondimenti condotti, tenendo conto dell'obiettivo primario dello studio in relazione ai tempi ristrettissimi di intervento, sul quale si riferisce nel seguito, è stato possibile configurare soddisfacenti ipotesi progettuali, che sono state poi tradotte in interventi concreti.

MODELLI GEOLOGICO E GEOTECNICO

GEOLOGIA

Nell'area di San Fratello interessata dal dissesto sono presenti terreni appartenenti a Formazioni geologiche riconducibili alle Unità di Catena, in contatto tettonico (UNIVERSITÀ DI CATANIA, 2000). In particolare si tratta:

- del Flysch di Monte Soro (Complesso Sicilide – Cretaceo), in facies prevalentemente quarzarenito-argillosa;
- delle Argille Scagliose Superiori (Complesso Sicilide – Cretaceo), costituite di argille marnose scagliettate con livelli decimetrici di calcari e calcari marnosi;
- del Flysch di Frazzanò (Complesso Calabride – Eocene Superiore), comprendente un'alternanza arenaceo-argillosa con intercalazioni di livelli conglomeratici a clasti filladici, arenacei e gneissici.

Tutti i terreni appartenenti alle Unità sopra descritte si presentano tettonizzati (intensamente fratturati i termini litoidi, fitamente scagliettati i termini argillosi). L'as-

setto strutturale è dominato da ricoprimenti tettonici multipli (stile compressivo) dislocati da faglie dirette a prevalente andamento NW-SE (stile distensivo).

Le due formazioni flyschoidi affiorano ai margini dell'area raggiunta dal dissesto ove, pertanto, la Formazione di Base è costituita quasi esclusivamente dalle Argille Scagliose (AS) che, nella fascia superiore, si presentano alterate (ASa). Sui terreni AS sopra descritti è presente una coltre superficiale costituita, nella parte superiore, da materiale di riporto (TR), in quella inferiore da argille e argille limose rimaneggiate, contenenti elementi eterometrici di natura arenacea e/o calcisiltitica (Ap).

In generale, lo spessore complessivo dei terreni della coltre superficiale non supera i 10 m (figg. 8 e 9).

RILIEVI ED INDAGINI IN SITO ED IN LABORATORIO

Per la definizione del modello geologico e geotecnico della frana sono state eseguite campagne di rilievi e di indagini in sito ed in laboratorio.

Le indagini comprendono:

- *sondaggi meccanici verticali a carotaggio*;
- *indagini geofisiche* (tomografia sismica ed elettrica, sismica in foro, in array e passiva a stazione singola);
- *monitoraggio piezometrico*, in corrispondenza di strumenti collocati in prossimità delle verticali esplorate con i fori di sondaggio e dei pozzi esistenti nel paese di San Fratello;
- *monitoraggio inclinometrico* in tubi installati in fori di sondaggio;
- *ispezione con sonda televisiva* di pozzi ubicati nell'area in frana, nella fascia rurale a valle del paese;
- *sondaggi a distruzione di nucleo con DAC-TEST* per l'acquisizione dei parametri di perforazione;
- *analisi e prove di laboratorio* su campioni estratti lungo i fori di sondaggio.

L'insieme dei dati acquisiti ha permesso di ricostruire un attendibile modello geologico e geotecnico delle porzioni apicali della frana, tale da sviluppare le seguenti osservazioni:

- la frana che ha danneggiato il quartiere San Benedetto (zona C – Fig. 1) è di tipo rotazionale e la superficie di rottura si è sviluppata, in parte, al contatto tra i terreni di copertura Ap e quelli di base alterati ASa, in parte, all'interno di questi ultimi, con un profondità massima di circa 11,50 m (Fig. 9). Di particolare interesse, ai fini dell'individuazione della superficie di scorrimento, è la variazione del contenuto d'acqua naturale (w_n) con la profondità rilevata in corrispondenza dei sondaggi eseguiti (Fig. 8): alle medesime profondità in cui gli inclinometri evi-

denziano la rottura, il contenuto naturale d'acqua assume un massimo relativo;

- nel dissesto del quartiere Riana (zona D – Fig. 1), la ricostruzione stratigrafica è del tutto analoga a quella delle zone limitrofe, ma non viene individuata con chiarezza una superficie di scorrimento né mediante le letture inclinometriche, né mediante l'esame della variazione di w_n con la profondità. Neanche le riprese video effettuate in alcuni pozzi, danneggiati dall'evento franoso e ubicati nella zona in argomento, hanno fornito indicazioni significative. Dall'esame del quadro fessurativo del terreno e degli edifici e della morfologia del sito e mediante la "back-analysis" è stata effettuata una attendibile ricostruzione del dissesto e si è stimato uno spessore massimo della frana pari a circa 14 m;

nel caso del movimento che ha coinvolto il quartiere Stazzone (zona E – Fig. 1) la frana appare di tipo roto-traslativo e la superficie di rottura, per lo più di tipo piano con andamento subparallelo al p.c., si sviluppa alla

profondità di circa 10 m dal p.c. al contatto tra le argille della coltre superficiale e quelle marnose, con tessitura a scaglie, della Formazione di Base.

INTERVENTI

Gli interventi previsti al momento sono finalizzati alla salvaguardia dell'abitato. Le opere di stabilizzazione del quartiere San Benedetto, analoghe a quelle previste per gli altri rioni, sono indicate nella Fig. 14. Si distinguono interventi ai margini della zona urbanizzata e opere ubicate all'interno del centro abitato. Le prime comprendono:

- trincee drenanti profonde 12 m, realizzate in pali secanti F600 mm di calcestruzzo alveolare posti ad interasse di 45 cm;
- pozzi strutturali e drenanti, ubicati subito a valle delle trincee, del diametro esterno di 12 m e profondità pari a 24,40 m posti ad interasse di 22 m, realizzati all'interno di paratie di pali F800 mm di 28 m di lunghezza;
- tubi drenanti microfessurati della lunghezza di m 4 posti a varie quote, di col-

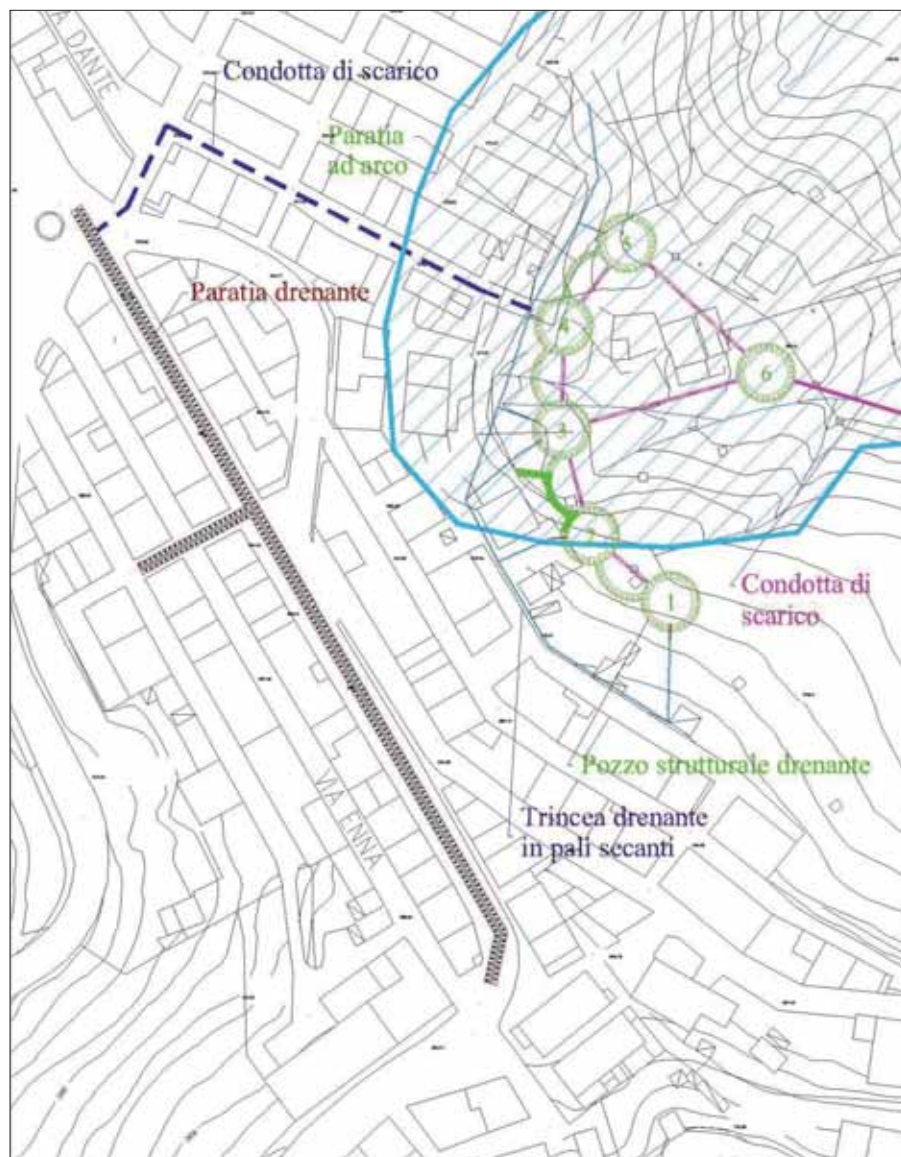


Figura 14 – Interventi in corrispondenza del quartiere S. Benedetto.



Figura 15 – Trave guida e pali secanti a Riana.

legamento idraulico tra le trincee e i pozzi drenanti;

- paratie ad arco di collegamento dei pozzi strutturali e drenanti, costituite da pali identici a quelli dei pozzi medesimi;
- tubazioni di captazione e smaltimento delle acque raccolte nelle trincee e nei pozzi drenanti;
- pozzi intermedi tra quelli strutturali e drenanti e le condotte di captazione e scarico.

Nel centro abitato sono previste paratie, costituite da due file di pali F600 mm di 16 m di lunghezza collegati in testa da un cordolo in c.a., all'interno dei quali va realizzata una trincea drenante di calcestruzzo alveolare di m 5 di profondità.



Figura 16 – Pozzi strutturali drenanti e paratie ad arco a San Benedetto.

L'intervento è completato da un sistema di monitoraggio dell'efficacia delle opere di stabilizzazione e degli effetti sugli edifici in fase esecutiva (entità delle vibrazioni provocate dalle trivelle) e a lungo termine (eventuali cedimenti indotti dai drenaggi) comprendente:

- misurazioni periodiche in piezometri e inclinometri; alcuni fori sono stati strumentati con trasduttori di pressione per la rilevazione in continuo del livello acquifero da correlare anche con le precipitazioni;
- un sistema di controllo di precisione di capisaldi installati in corrispondenza degli edifici ricadenti nelle zone di intervento;
- misura delle vibrazioni indotte dalle macchine di perforazione mediante accelerometri da collocare nei fabbricati più vicini alle palificazioni.

CONCLUSIONI

La frana che il 14 febbraio 2010 ha gravemente danneggiato l'abitato di San Fratello rappresenta uno dei più grandi e complessi dissesti verificatisi in Sicilia nell'ultimo secolo per la sua estensione, per gli effetti prodotti in termini di danno al patrimonio edilizio e alle infrastrutture e per le specifiche caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche. Infatti, i terreni interessati dal dissesto appartengono a Formazioni Geologiche complesse in contatto tettonico, costituite di alternanze caotiche di livelli argillitici molto tettonizzati e livelli a consistenza lapidea, sui quali insiste una coltre rimaneggiata da precedenti frane storiche. Inoltre, l'intero paese è sede di una falda idrica il cui livello massimo raggiunge il piano campagna. Infine, il movimento fra-

noso è articolato in movimenti distinti, certamente interdipendenti, ma con specifiche caratteristiche cinematiche e geometriche, con particolare riferimento alla profondità della superficie di scorrimento, diversa in corrispondenza di ciascuno di essi.

Seppure in un contesto di somma urgenza, dettato dalla necessità di arrestare il fenomeno franoso che ha danneggiato circa un terzo dell'abitato e minaccia la parte restante, lo studio del dissesto è stato affrontato individuando e ottimizzando metodologie affidabili e veloci di acquisizione dati. Nella scelta degli interventi, si è fatto riferimento a tecnologie tradizionali, quali i pozzi strutturali e le paratie drenanti, ma anche a tecnologie innovative, quali trincee drenanti profonde 12 m realizzate con pali secanti di calcestruzzo alveolare, opportunamente collegate, mediante dreni suborizzontali di modesta lunghezza, ai pozzi strutturali. Infine, è stato messo a punto un piano di monitoraggio finalizzato a verificare l'efficacia degli interventi di stabilizzazione, in termini di riduzione degli spostamenti del pendio in frana e del controllo delle pressioni interstiziali nel terreno, ma anche degli effetti dei drenaggi sugli edifici. Per quanto gli interventi previsti siano finalizzati alla messa in sicurezza dell'abitato, è evidente che essi determineranno effetti benefici anche sulla stabilità della parte di pendio che ricade a valle degli stessi.

Buona parte degli interventi di stabilizzazione ha avuto inizio nel dicembre 2010. I risultati strumentali progressivamente acquisiti forniranno una valutazione delle scelte effettuate, suggerendo eventuali modifiche od integrazioni in corso d'opera, nell'ottica di una progettazione che si conclude all'atto dell'ultimazione dei lavori.

BIBLIOGRAFIA

- AIRÒ FARULLA C. (2001). *Analisi di stabilità dei pendii. I metodi dell'equilibrio limite*. Hevelius Edizioni, Benevento.
- AMICO V. (1855). *Dizionario topografico della Sicilia*. Volume 1, p. 450. Sigma Ediz., Palermo.
- BILOTTA E. & UMILTÀ G. (1979). *Proprietà fisico-meccaniche di argille a scaglie; esperienze su campioni indisturbati*. Rapporto interno.
- DUNCAN J.M. (1996). *State of the Art: Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis of Slopes*. J. of Geotechnical Eng., Asce, 122 (7), pp. 557-596.
- JAPPPELLI R. & ALTRI (1977). *A Survey of Geotechnical Properties of a Stiff Highly Fissured Clay*. International Symposium, Capri, Vol. II, pp. 91-106.
- POPESCU M.E. (1994). *A Suggested Method for Reporting Landslide Causes*. Bull. Laeg, 50, pp. 71-74.
- UNIVERSITÀ DI CATANIA (2000). *Carta Geologica della Provincia di Messina*. Selca, Firenze.
- VARNES D.J. (1978). *Slope Movement. Types And Processes*. "Landslides. Analysis and Control", Special Report, 176, T.R.B., National Academy of Sciences.

Consolidamento idrogeologico e ripristino della viabilità interrotta ad Aliano (MT)

10° Programma stralcio di interventi urgenti per la riduzione del rischio idrogeologico del Ministero dell'Ambiente, D.G. Difesa del suolo

AMBITO DELL'INTERVENTO

Il comune di Aliano è ubicato nella provincia di Matera, su una collina tagliata in più punti da lunghe e profonde incisioni, le cui superfici esposte coincidono con lineazioni di rotture conseguenti all'evoluzione tettonica dell'area. L'abitato, posto sulla sommità di un crinale che separa le vallate dei fiumi sopra citati, sta assumendo una rilevanza storico-culturale e turistica di importanza crescente. Negli anni 1935-36 il paese è stato sede del confino del medico, scrittore e artista Carlo Levi, descritto nel libro *Cristo si è fermato ad Eboli*.

L'abitato è posto in una zona a grande vocazione turistico-naturalistica con presenza sia di ambienti fluviali che montani-boscati ed anche culturale e archeologica.

Purtroppo, l'abitato è cronicamente interessato da fenomeni di dissesto e di instabilità legati all'evoluzione geomorfologica del territorio. L'assetto geomorfologico dell'abita-

to viene descritto anche da Levi, che lo vede posto su «una specie di serra irregolare in mezzo a profondi burroni pittoreschi». Sulla stabilità dell'abitato Levi scriveva: «tutte le case parevano in bilico sull'abisso, pronte a crollare e piene di fenditure». I fenomeni di instabilità che interessano l'abitato sono cronici, e la presenza di profondi burroni che circondano l'abitato fanno ritenere il livello di rischio molto elevato.

Da alcuni anni il paese è rimasto isolato dal lato Agri a causa di una grande frana, che ha interrotto la strada che collega l'abitato con il fondo valle dell'Agri, proprio all'ingresso dell'abitato. Tutto questo con grave pericolo per chi transitava la strada prima che l'evento fosse segnalato, e con i disagi dovuti alla strada interrotta.

La strada provinciale Aliano-Alianiello è stata interessata nel 1998 da un movimento di massa di grandi dimensioni a poca distanza dall'abitato di Aliano. I terreni coinvolti nel

movimento sono costituiti da sabbie limose, cementate, costituendo in tal modo ammassi, frazionati in blocchi e zolle, anch'essi di dimensione variabile. La zona rivela evidenza di numerose frane antiche e recenti, tipicamente di grandi dimensioni, nei corpi sabbiosi cementati, riconducibili a traslazioni rigide su superfici piane. La stessa area di frana rivela il coinvolgimento in movimenti di grandi e piccole dimensioni, questi ultimi presumibilmente recenti.

La prima e più rilevante manifestazione dell'evento, com'è tipico per frane in questo tipo di materiali, risale al 1998, quando la strada è stata tagliata trasversalmente dal movimento franoso, subendo un abbassamento di 14-15 m su un fronte di oltre 100 m. Nel corso della realizzazione di una pali-ficata, verso l'autunno del 1999, un'ulteriore evoluzione della frana, proprio mentre si realizzava un palo, evidenziava l'impossibilità della realizzazione dell'opera.





Al termine dell'estate dell'anno 2000 la frana, che non ha mai cessato la sua lenta attività, faceva registrare ulteriori movimenti, resi visibili da rotture sul terreno e misurate dagli inclinometri installati pochi mesi prima e subito dopo spezzatisi. Nella seconda metà del 2002 è stato possibile avere una cartografia aerofotogrammetrica aggiornata e, con la costruzione di una pista (resa possibile anche dalla esecuzione di alcune opere) si è potuto finalmente accedere al piede del versante e condurre rilievi per la delimitazione del corpo in movimento.

La stratigrafia del sito è stata ricostruita con l'ausilio di numerosi sondaggi meccanici a carotaggio continuo od a distruzione, eseguiti in varie riprese, a profondità variabile da 30 a 50 metri. La lettura delle stratigrafie mostra una notevole omogeneità, riconducibile a tre termini sovrapposti in continuità: sabbie grigie-giallastre – sabbie / silt argillosi / argille giallo-rossicce - silts argillosi / argille grigie.

Le condizioni idrogeologiche del sito sono governate da: permeabilità dello strato di sabbie affioranti; fessurazione e paracarsismo entro i depositi sabbiosi; frazione fina (D_{10}) di tali terreni; contrasto di permeabilità con i terreni sottostanti; assetto della stratificazione (dotata di notevole pendenza verso NNE).

In tutti i sondaggi eseguiti non è stata trovata traccia di acqua organizzata in falde idriche. I primi due e l'ultimo dei fattori sopra esposti danno ragione di tale circostanza: il drenaggio profondo è da considerare eccellente e la forte pendenza impedisce condizioni significative di accumulo.

È presente invece, nei periodi di forte precipitazione, una condizione di impregnazione capillare, governata dal terzo fattore elencato, che, se alimentata, può produrre qualche limitato percolamento, fin quando non intercettato da qualche sottile livello limoso argilloso o riassorbito da fenomeni capillari. Dette fasce di impregnazione, tipicamente scure, come visibile sui fronti esposti, alimentano evapotraspirazione differita nel tempo.

GLI INTERVENTI PREGRESSI

Dopo la frana del luglio 1998 erano stati effettuati alcuni interventi, ai fini del ripristino urgente della viabilità interrotta, con la costruzione di un rilevato a paramenti subverticali e di una paratia di pali tirantati.

Le cause della frana, per quanto noto, derivano dalla debolezza del territorio: il versante è risultato "affettato" da una famiglia di fratture tettoniche subverticali di direzione N e 340° N, tagliato alla base da una discontinuità stratigrafica, con direzione quasi perpendicolare alla fessurazione, e resa temibile dall'impoverimento granulometrico causato da passati regimi idrogeologici. In pratica, le sabbie cementate risultano appoggiate su un piano inclinato di circa 21° mediante uno strato di sferette; il corpo è rimasto stabile fin quando attaccato all'ammasso retrostante dalla debole cementazione residua lungo i piani di frattura subverticali. Non sono state rinvenute falde idriche, ma l'acqua è presente nei terreni per adesione e per capillarità e ha contribuito al franamento mediante meccanismi di aumento del peso dei terreni e di attacco sulle cementazioni carbonatiche negli opportuni contesti geochimici.

La riattivazione della frana dopo lunghi e continui periodi di pioggia, estate 2002-primavera 2003, fa ipotizzare anche altri meccanismi di azione dell'acqua, non identificabili nell'instaurazione di pressioni idriche, quanto piuttosto nel dilavamento e trasporto delle frazioni più fini, con sconvolgimento dei rapporti mutui di contatto (e di forze trasmesse) tra le zolle costituenti il corpo della frana.

Il ragionevole tentativo di bloccare la frana, nell'ottica del ripristino della viabilità interrotta, acquisiva, a seguito dei rilievi condotti al piede della frana dopo il conseguimento della sua accessibilità, il carattere di necessità. Infatti, i rilievi evidenziavano il movimento dell'intera zolla in frana a chiudere il fosso principale, che nasce in corrispondenza dell'abitato di Aliano, con conseguenze pericolosissime per l'abitato stesso, a causa del lago artificiale che genererebbe fino a che, una condizione di sifonamento, non ne produrrebbe la distruzione repentina.

Gli interventi di consolidamento e di monitoraggio originariamente eseguiti sono consistiti nella realizzazione di ulteriori due file di tiranti sulla preesistente struttura su pali in destra frana e della paratia di collegamento a monte della strada e nell'esecuzione di ulteriori due strutture di sostegno a micropali nel luglio 2002, con inizio e fine della seconda e terza struttura di consolidamento.

Nel giugno 2001 è cominciata l'attività di controllo topografico su alcuni punti della gabbionata e delle strutture esistenti, o nel frattempo costruite, dal nuovo riferimento in sinistra cantiere, con misure inizialmente mensili, e successivamente infittite, dopo la riattivazione del movimento avvenuta il

12.9.2002. Sono state inoltre eseguite ulteriori perforazioni inclinometriche, interrotte, a varie quote dopo la riaccutizzazione del movimento del 12.9.02 e con semplice rivestimento, da esplorare con sonda TV. Dopo tale data, il Laboratorio di Idrogeologia Applicata dell'Università della Basilicata, che curava anche le misure inclinometriche, ha posto in opera una stazione per il rilevamento dell'emissione acustica generata dal movimento della frana, rivelatasi particolarmente utile per il monitoraggio dell'evoluzione cinematica della stessa.

Il monitoraggio del movimento di diversi punti del corpo di frana ha rivelato che la frana è sensibile agli eventi climatici, con meccanismo complesso, che tiene conto di grosse zolle perimetrali in spostamento verso NE, cui segue un meccanismo di insaccamento e spostamento verso N anche delle zolle comprese tra la strada e le zolle perimetrali. Queste ultime, parzialmente frantumate, erano aggredite in modo particolare dalle acque di ruscellamento superficiale, che si insinuavano tra le fratture e dilavavano le parti sciolte. Non apparivano invece, come tipico per questi materiali e per questi tipi di frane, rilevanti condizioni di pressioni interstiziali, posto che l'ammasso drena sia per la costituzione sabbiosa, sia per le grosse fratture che lo affliggono.

Nel contesto delle rilevanti fratture rilevate sul terreno e dei grossi spostamenti misurati su una delle zolle perimetrali, gli spostamenti in corrispondenza della strada e delle strutture realizzate erano centimetrici. Questi ultimi dunque evidenziavano un corretto lavoro di interdizione al movimento della massa in frana esplicito dalle strutture esistenti e nel frattempo realizzate, anche se la quota di carico da esse sopportata era forzosamente superiore a quella ad esse destinata in progetto.

Non esistevano pertanto controindicazioni al proseguimento e al completamento delle opere di consolidamento, quantitativamente ridefinite, alla luce delle maggiori dimensioni volumetriche complessive rivelate dal corpo di frana.

Nel movimento verso N-NE del corpo di frana nella prima rottura, questo si è parzialmente appoggiato sul versante opposto di un fosso laterale, in prossimità della sua confluenza con un fosso più grande. Conseguentemente, è stato progettato, e realizzato quasi nella sua totalità, un intervento di sistemazione e colmamento di questi due fossi, per ricostituire il piede del versante in frana ed anticipare il movimento di chiusura della valle, che, altrimenti avrebbe conseguenze catastrofiche sull'abitato.

Il corpo di frana, sulla base delle misure topografiche dirette e confermate dalle misu-

re effettuate con GPS continua un movimento lungo il fronte delimitato dagli speroni con velocità costante di poco meno di 1 mm al giorno. Le ultime misure disponibili risalivano al 30 giugno 2004.

Le evidenze di nuove rotture e di gradini sul terreno apparivano ridotte nonostante permanesse, senza gli alleggerimenti richiesti in precedenza, il soprappeso costituito dalle gabbionate di testa. Risultava rifilato in quota l'ultimo sperone a valle, onde è possibile visualizzare l'appoggio contro la parete verticale che delimita la frana di un blocco mossosi in precedenza, sul quale, a sua volta, si evidenziava una superficie recente di scorrimento.

Sono state eseguite operazioni di rinforzo sul piano di scivolamento del primo degli speroni, con presenza di boiaccia in due punti sulla pista che passa al di sotto. Si sono colmate le fessure determinatesi sul ciglio di monte, lato prima diaframma su micropali, mediante immissione di acqua miscelata a cemento, con rapporto orientativo di 1 q a mc con moderata pressione.

GLI INTERVENTI REALIZZATI

La strada Aliano-Alianello assumeva un aspetto molto importante per il collegamento di Aliano con la Val d'Agri, anche di intenso flusso di traffico, che collega il Comune con il Metapontino. Le opere pregresse avevano sinora arginato, ma non contenuto, il fenomeno franoso, stante la limitatezza degli interventi, a causa della mancanza delle risorse finanziarie. La mancata prosecuzione avrebbe vanificato quanto già realizzato ed innescato, in maniera irreversibile, il riattivarsi del movimento con le relative conseguenze catastrofiche per l'abitato. Inoltre, era necessario urgentemente ridurre i disagi provocati alla popolazione a seguito della interruzione del collegamento, in quanto per unire i due centri Aliano ed Alianello (distanti solo 4 km) occorreva percorrere una strada alternativa di circa 50 km, con disagi in tutto l'arco dell'anno, per la diversa dislocazione nei due centri delle strutture sanitarie, scolastiche, amministrative, sociali, etc. L'urgenza era dettata anche sotto l'aspetto della Protezione Civile. Ripristinare il collegamento e completare le opere di stabilizzazione del versante è apparso indifferibile.

Sono stati previsti:

INTERVENTI DI COMPLETAMENTO PER IL CONSOLIDAMENTO

In funzione dei risultati conseguiti e delle azioni intraprese ed in via di esecuzione e/o completamento, si è ritenuto necessario innanzitutto proseguire nella campagna di monitoraggio e raccolta dati già descritta in precedenza.

Per dare poi consistenza definitiva agli interventi già realizzati ed in corso di esecuzione, si è ritenuto necessario proseguire, in funzione anche del comportamento della frana nel tempo, nella costruzione di opere e manufatti di consolidamento (micropali, macropali rigidi, rimodellamento e sistemazione idraulica di superficie).

INTERVENTI PER IL RIPRISTINO VIARIO

Per ripristinare la viabilità tra Aliano e Alianello è stata prevista la costruzione di un nuovo ponte, a tre luci, con struttura portante costituita da due pile centrali e da spalle laterali; la posizione planimetrica delle due pile è esterna rispetto al ciglio superiore del movimento franoso e risulta di accertata sicurezza rispetto alla stabilità complessiva del manufatto, come meglio dettagliato nelle apposite relazioni di settore (geologico-geotecnico e di calcolo strutturale). La sezione corrente del viadotto è di tipo composto (struttura in acciaio alla quale è solidale la soletta in calcestruzzo armato).

Si è così redatto il progetto dei lavori di «Completamento del ripristino viario Aliano-Alianello e di completamento del consolidamento del pendio sottostante».

L'importo necessario era di € 5.365.000,00. L'Amministrazione ha reperito presso la Regione Basilicata risorse per € 1.398.515,00. Il Ministero dell'Ambiente (D.G. Difesa del Suolo), ha messo a disposizione un finanziamento di 2.500.000 €, nell'ambito del 10° Programma stralcio di interventi urgenti per la riduzione del rischio idrogeologico, ai sensi dell'art. 16 della L. 179/2002.

Il Gruppo di Lavoro che ha seguito il progetto e i lavori era composto da: Geom. Nicola Di Ruggiero (Comune di Aliano), Ing. Donato Grieco (Responsabile del Procedimento, Ufficio Infrastrutture e Difesa del Suolo, genio Civile di Matera), Prof. Ing. Giuseppe Spilotro, Prof. Ing. Pierino D'Ambrosio (progettista), Prof. Ing. Antonio Di Santo (progettista), Prof. Dr. Nedo Biancani (Referente per il Ministero dell'Ambiente-DG Difesa Suolo, Assistenza al R.U.P., Consulente, supervisore). Nel periodo era Sindaco il Dr. Antonio Colaiacovo.

Il nuovo ponte è stato inaugurato il 22 maggio del 2008.

L'esperienza testimonia un caso di successo degli interventi in emergenza. La criticità soggiacente può stimolare la riflessione, più ampia, se quella degli interventi in emergenza sia irrimediabilmente destinata a costituire la via ordinaria della tutela del territorio, specialmente in un ambito delicatissimo come quello della difesa del suolo.

Nel caso di Aliano, la geologia non era disposta a concedere tempo per la riflessione sulle politiche di gestione del rischio idrogeologico.

La regimazione delle acque superficiali: il caso di Lavacchio (MS)

PAOLO CORTOPASSI
Regione Toscana, Genio Civile di Massa Carrara

PREMESSA

Il territorio del Comune di Massa in provincia di Massa Carrara (Toscana – vedi figura 1) è stato interessato nella giornata del 31 ottobre 2010 da un forte evento pluviometrico che ha provocato gravi danni, in particolare nelle zone collinari delle località del Mirteto e di Lavacchio. Il presente contributo esamina il Progetto Preliminare degli interventi da realizzarsi nel versante montano-collinare che dal Monte Brugiana (974 m.s.l.m.), scende tra gli abitati di Bergiola Maggiore (376 m.), Bargana (320 m.) e Lavacchio (160 m.) In quest'ultima località verso le ore 23 del 31 ottobre, una frana si è staccata dal versante, investendo alcune abitazioni sottostanti; il bilancio è risultato tragico con la morte del piccolo Mattia di soli due anni e di sua madre Nara, investiti da una massa di fango e detriti che hanno sfondato il tetto della loro abitazione.

1. L'EVENTO PLUVIOMETRICO

L'altezza di precipitazione registrata nelle 24 ore ai pluviografi del Genio Civile e di MeteoApuane, (distanza 400 metri l'uno dall'altro e 1,5 chilometri da Lavacchio), è stata, rispettivamente di 152 mm e 162 mm. I dati sono ben confrontabili e osservando la tabella sottostante, indicano una pioggia con tempo di ritorno trentennale per le 24 ore.

Esaminando il grafico di figura 2 pubblicato sul sito www.MeteoApuane.it, indicativo delle precipitazioni ogni 5 minuti, si è potuto osservare che le piogge si sono concentrate, maggiormente, in due distinti periodi, tra le 2:00 e le 4:00 e tra le 17:00 e le 23:00 (quest'ultimo comprendente il tragico evento franoso di Lavacchio). L'intensità maggiore è stata raggiunta nel primo periodo e precisamente tra le 2.50 e le 3.20 con un totale di 36,6 mm (Tr 10 anni nei trenta minuti), con

parziali di 29 mm in 20 minuti (Tr 10 anni) e di 16,8 mm in 10 minuti (Tr 5 anni). Il secondo periodo è stato caratterizzato dal picco tra le 22,40 e le 23, che ha prodotto 11,7 mm in 20 minuti, corrispondente a una pioggia con Tr inferiore ai 5 anni. I danni registrati al territorio sono stati caratterizzati da numerosi fenomeni gravitativi sui versanti in esame (di estensione e intensità più o meno limitate), e secondariamente strutturali per l'interferenza di tali fenomeni con abitazioni e manufatti.

La quasi totalità degli effetti negativi evidenziati sul territorio in esame, è imputabile a non corrette regimazioni e smaltimenti delle acque superficiali, volendo intendere anche tutte quelle situazioni in cui le opere di drenaggio superficiale sono pressoché assenti. Nella zona in esame è stata quindi condotta un'indagine di carattere geomorfologico – idrologico volta a definire le condizioni dei versanti e dell'attuale sistema di drenaggio

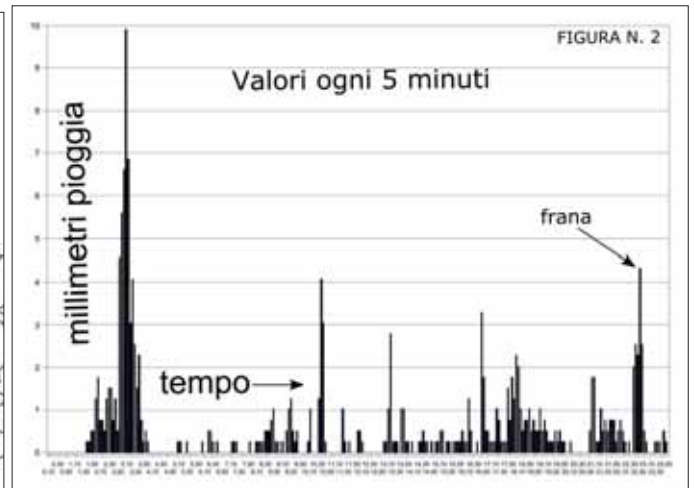
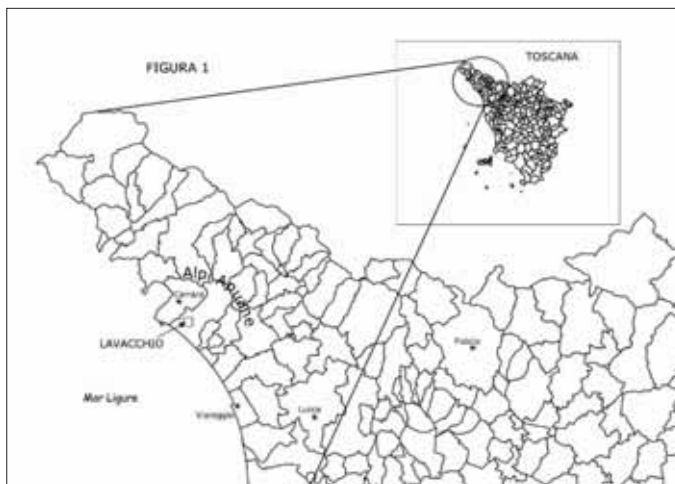


Tabella 1 – Pluviometro di Massa

Tabella dei valori dell'altezza di pioggia [mm] in funzione del tempo di ritorno [anni] e della durata [minuti e ore]

durata --> minuti

Tr [anni]	10	20	30	60	180	360	720	1440	
5	17,3	25,5	32,3	46,4	69,8	81,0	95,1	113,8	h (mm)
10	19,5	29,4	37,3	54,9	82,5	93,6	109,4	132,0	
20	21,6	33,2	42,1	63,1	94,6	105,7	123,1	149,5	
30	22,8	35,3	44,8	67,8	101,6	112,6	131,0	159,6	
50	24,3	38,0	48,2	73,7	110,3	121,3	140,8	172,1	
100	26,4	41,7	52,9	81,6	122,1	133,1	154,1	189,1	
200	28,4	45,3	57,5	89,5	133,8	144,7	167,3	206,0	
500	31,1	50,1	63,5	99,9	149,2	160,2	184,7	228,3	

delle acque superficiali, al fine di individuare i necessari interventi di sistemazione, recupero e miglioramento.

2. AREA D'INTERVENTO: STATO ATTUALE

L'area indagata si estende sui versanti collinari prospicienti la città di Massa, in particolare lungo declivi che dal crinale del Monte Brugiana discendono a sud verso la valle del Fiume Frigido e che comprendono le frazioni di Bergiola Maggiore, Bargana e Lavacchio.

Il bacino idrografico alla sezione di chiusura poco sotto l'abitato di Lavacchio (vedi

figura 3) misura circa 3,2 km²; il presente studio si è sviluppato sulla porzione orientale, interessata dai nuclei abitati. Quest'ultima parte comprende un'estensione di circa 1,7 km², così suddivisi:

Denominazione	Suddivisione	Superficie (m ²)
Bacino T2		53.409
Bacino T16		172.800
Bacino X		127.960
Bacino Alto		946.450
Bacino Basso:	porzione tratteggiata	315.670
	porzione non tratteggiata	115.394
TOTALE		1.731.683

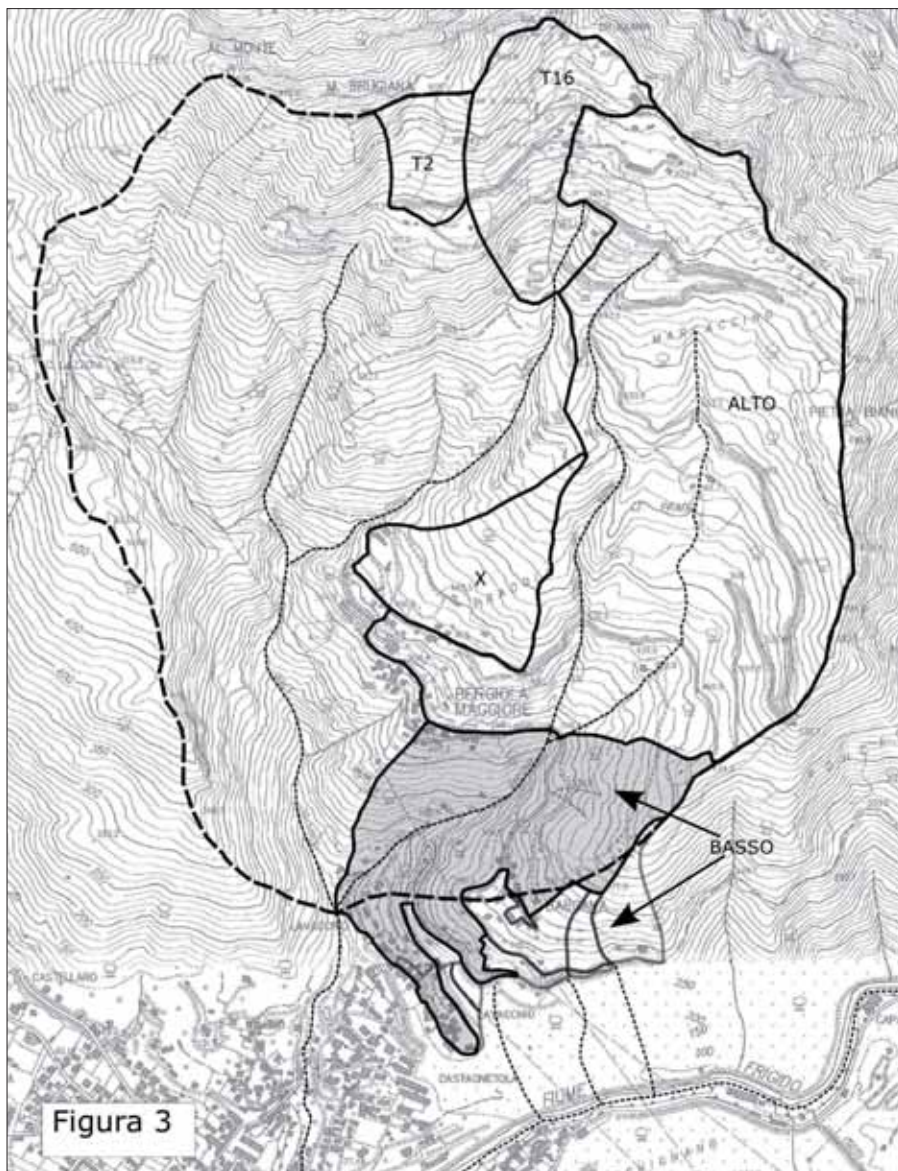
Sono stati oggetto del presente studio i principali corsi d'acqua dell'area:

- il Fosso dei *Bozzi*, che interessa i bacini T2, T16 e X;
- il Fosso dei *Marmi* e il torrente *Acquastrini*, che scorrono nel bacino Alto;
- il Fosso di *Bargana*, che scorre nel bacino Basso.

Questi corsi d'acqua si raccolgono nel fosso della *Colombera*, che a sua volta nel tratto terminale, prima d'inserirsi nel fiume *Frigido*, prende il nome di fosso del *Rotino*. Il rilievo dell'area è stato svolto procedendo dalle quote più elevate del bacino verso valle, utilizzando la scala di dettaglio della C.T.R. 1:2.000 con ingrandimento al 1.000 nelle aree abitate. Per una migliore visione a livello globale dell'area d'interesse sono state utilizzate le cartografie in scala 1:5.000 e 1:10.000.

2.1 VERSANTI

Nell'area analizzata sono stati riscontrati numerosi fenomeni gravitativi di entità più o meno elevata e situazioni di dissesto diffuso per erosione da parte delle acque di ruscellamento superficiale. L'evento franoso maggiormente significativo è stato quello di Lavacchio, dove il versante interessato dal dissesto era caratterizzato da una pendenza di circa 45° e uno spessore medio di coltre detritica non superiore ai due metri; quest'ultima si è distaccata a partire dalla ripa di valle della viabilità provinciale, scivolando per un dislivello di 45 metri (figura 4). Tale materiale detritico, dopo aver superato la nuova sottostante viabilità, si è andato a scaricare sulle coperture di alcuni edifici, che sono state distrutte. Lo spessore massimo della coltre che ha dato luogo alla frana è risultato di circa un metro e mezzo, con un valore medio prossimo al metro. Queste valutazioni hanno portato a stimare un volume di frana dell'ordine dei 600 m³. Altri limitati smottamenti sono presenti lungo gli impluvi naturali e in corrispondenza dei tagli stradali. Si tratta di scivolamenti della copertura superficiale del terreno (coltre detritica), talora con interes-



samento della vegetazione arborea e in alcuni casi con conseguente ostruzione della sede stradale e delle opere di regimazione superficiale delle acque presenti (canalette, pozzet-

ti, griglie). In alcuni casi sono stati riscontrati ammaloramenti di opere di sostegno e contenimento (muri) al piede dei terrazzamenti antropici dei versanti.

2.2 REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Nella parte superiore del versante (per la maggior parte boscata) le acque superficiali seguono sostanzialmente la naturale pendenza dei versanti, ruscellando diffusamente o incanalandosi negli impluvi naturali. L'unico elemento di regimazione esistente è una canaletta che corre lungo il bordo di monte dell'unica strada (per la maggior parte sterzata, almeno fino in prossimità dell'abitato di Bergiola Maggiore), che "taglia" i versanti dell'area in esame. Essa assume l'aspetto di un solco in terra nella parte più alta (sezione subtrapezoidale di larghezza e profondità di 40 cm), per trasformarsi successivamente in

nella formazione di criticità, anche gravi, che in un ambiente collinare come quello in oggetto, possono originare pericolose erosioni che sfociano in fenomeni franosi più o meno consistenti.

L'esame dettagliato dell'area, accompagnato dai numerosi colloqui effettuati con gli abitanti della zona, ha permesso di redigere una carta della Circolazione delle acque superficiali. La redazione di tale elaborato ha permesso d'individuare le criticità del deflusso superficiale, informazioni indispensabili per una buona riuscita degli interventi di risanamento da effettuare. Un particolare, mostrato nella figura 5, illustra una circola-

zione superficiale intercettata dalla viabilità, che ne determina la direzione di scorrimento.

Come risaputo, *le strade, possono generare una serie di problemi di natura idraulica*, che possiamo elencare secondo tre punti.

1. Le viabilità che "tagliano" i confini naturali definiti dagli spartiacque, originano circolazioni anomale che convogliano grandi quantità di acque su specifici settori drenandole da zone lontane. In questo contesto una singola canaletta o un pozzetto idraulicamente calibrati, possono non funzionare correttamente, perché sono raggiunti da volumi d'acqua eccessivi, oppure sono utilizzati in forma parziale.
2. Le strade sono la sede principale del passaggio di tutti i servizi e degli accessi alle abitazioni private. Con il passare degli anni, le originarie opere di drenaggio presenti a fianco o sotto la sede stradale, vengono interessate dai numerosi lavori che ne modificano la forma e l'efficienza. Nel caso specifico risulta esemplare il tratto di strada della lunghezza di circa 2 km che da Bargana giunge a Lavacchio; come mostrato in figura 6, su tale percorso abbiamo individuato 14 restringimenti dell'originaria *vecchia canaletta* di sezione 400x400 mm. Le modifiche effettuate hanno, così, reso "intermittente" la funzione di raccolta delle acque superficiali.
3. Come noto a tutti, la funzionalità di un'opera di regimazione delle acque superficiali è proporzionale alla frequenza della manutenzione che su essa viene applicata. La presenza di pozzetti e tu-

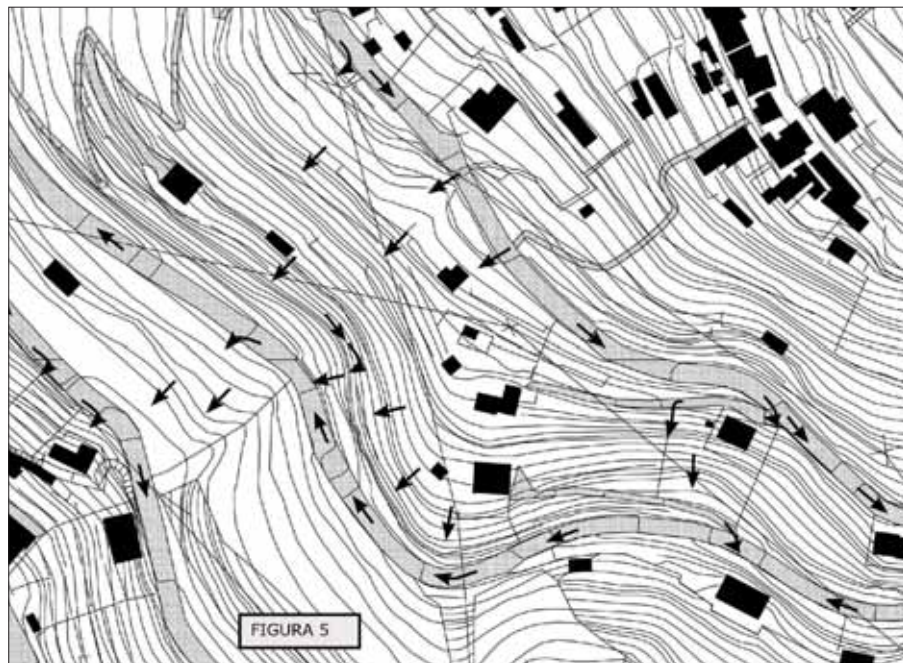


FIGURA 5

calcestruzzo, con sezione semicircolare del diametro di 40 cm. Con discreta regolarità, la canaletta è interrotta da attraversamenti trasversali (basti rovesci in terra) che intercettando il flusso idrico, lo dirigono più a valle verso linee d'impluvio naturali o in altri tratti di canaletta (in corrispondenza dei tornanti della strada). *Questa frequente suddivisione dei volumi idrici crea una distribuzione abbastanza omogenea dei flussi sui pendii, mantenendo una situazione abbastanza stabile.* La parte inferiore del versante, risulta caratterizzata dalla presenza di tre nuclei abitati, Bergiola Maggiore, Bargana e Lavacchio. Qui la regimazione delle acque risulta più complessa sia per la presenza degli abitati, sia per le viabilità comunali e provinciale. Risulta chiaro come l'urbanizzazione possa provocare squilibri di carattere idrologico, con immediate conseguenze che indicano una circolazione superficiale non corretta e un aumento dell'impermeabilità delle superfici, che di fatto permette una maggiore quantità di acque di deflusso a scapito dell'infiltrazione. Tutto questo si può, quindi, tradurre



Figura 6

bazioni invasi dalla vegetazione (foglie e rametti) e da rifiuti non correttamente smaltiti, limita ulteriormente l'efficienza dello smaltimento delle acque.

In una situazione in cui si sommano le problematiche elencate non è, quindi, più possibile intervenire se non per *area globale*; il singolo intervento sulla canaletta (che non sia, ovviamente, un restringimento della sezione), può risultare vano o addirittura deleterio, spostando il problema della non corretta regimazione delle acque, più a valle. Partendo dalla situazione presente, si è cercato di trovare una soluzione che porti alla corretta regimazione e smaltimento delle acque superficiali.

3. STIMA DELLA PORTATA DELLE AREE SCOLANTI

Una volta localizzati gli attraversamenti stradali delle opere idrauliche esistenti, si è passati a suddividere il versante in sottobacini o meglio *aree scolanti*; quest'ultima dizione si applica in maniera migliore alle varie superfici che sono state individuate co-

7, l'aspetto delle varie aree scolanti appare ancora più stravolto, condizionato in maniera preponderante dal tracciato della strada provinciale.

Nei Bacini *Alto*, *T2* e *T16*, si è scelto di lasciare inalterata la circolazione superficiale esistente, migliorando il deflusso con nuove opere idrauliche, correttamente dimensionate.

Tale decisione è nata osservando lo stato dei luoghi che a parte alcune limitate situazioni di criticità, ha permesso di valutare accettabile la situazione. Discorso a parte è stato effettuato per i Bacini *X* e *Basso* che come in seguito descritti, sono stati oggetto di interventi strutturali. Le aree scolanti complessive sono risultate 18, di cui 4 nella parte superiore del versante (*T2*, *T16* e n.2 nel Bacino *Alto*) e 14 tra gli abitati di Bergiola e Lavacchio (13 nel Bacino *Basso* più il Bacino *X*); successivamente molte aree sono state ulteriormente suddivise, raggiungendo, rispettivamente, il numero di 30 e di 29, per un *totale complessivo di 59 sotto aree scolanti*. Per il calcolo della portata di ogni singola

flusso; l'intensità di pioggia uniformemente distribuita sulla sup. del bacino (mm/h); *S* è la superficie del bacino (km²); 3,6 rappresenta il coeff. di adeguamento dimensionale.

Dato che nel metodo razionale, il tempo di pioggia che determina la massima piena coincide con il "tempo di corrivazione" (*tc*) del bacino, si è proceduto al calcolo dello stesso utilizzando la **formula di Kirpich**, riportata di seguito, che risulta particolarmente adatta a *bacini con superfici inferiori al km²*:

$$tc = 0,066 * L_{0,77} * (1000 * L / (H_{max} - H_{min}))^{0,385}$$

dove:

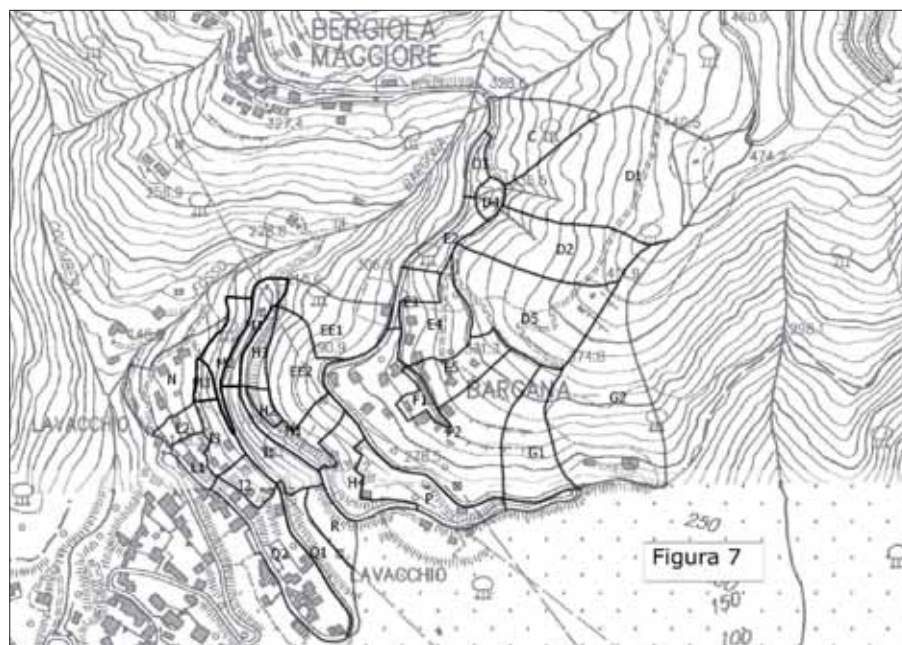
L è la lunghezza dell'asta principale (Km); *H_{max}* è la quota massima del bacino di riferimento in m s.l.m., e *H_{min}* è la quota alla sezione di chiusura del bacino.

Per la scelta dei fattori da introdurre nella formula, si è ricorsi all'analisi dei valori di altezza di pioggia calcolati per la stazione di Massa, nel periodo 1924-1998, di tabella 1. Come descritto, l'evento ha avuto picchi di pioggia con tempi di ritorno compresi tra 10-30 anni; nello specifico, data la limitata estensione delle aree scolanti oggetto dello studio, si è verificato che *i valori dei tempi di corrivazione sono risultati compresi tra mezzo minuto e cinque minuti e mezzo*. Non avendo la possibilità di utilizzare dati storici di piogge con durata inferiore ai 10 minuti (tra l'altro i valori delle piogge di 10 minuti non sono presenti per tutti gli anni del periodo d'osservazione), e visti i tempi di corrivazione calcolati si è ritenuto significativo e corretto ricorrere all'utilizzo dei valori di pioggia della durata di dieci minuti.

Le nostre verifiche hanno, quindi, considerato tempi di pioggia superiori ai tempi di corrivazione; questo significa, che nell'ipotesi di pioggia d'intensità costante, una volta superato il tempo di corrivazione, tutto l'area scolante contribuisce alla portata massima che si mantiene costante per alcuni minuti. Una volta stabilita la durata della pioggia significativa per i calcoli, siamo passati alla valutazione dei tempi di ritorno da utilizzare per il calcolo delle portate.

Generalmente, il dimensionamento delle fognature e delle opere idrauliche minori, in condizioni pseudopianeggianti viene sviluppato con tempi di ritorno tra il ventennale e il trentennale. In questa circostanza abbiamo, invece, applicato un *tempo di ritorno cinquantennale*, facendo le seguenti considerazioni:

- la differenza tra l'altezza di pioggia trentennale e quella cinquantennale non appare elevata (1,5 mm – vedi tabella 1);
- l'ambito territoriale degli interventi è quello collinare, con pendenze della viabilità mai inferiori al 6-7% e con una media di circa un 10%;



me afferenti alla stessa sezione di chiusura, in quanto acquista il significato di area non esclusivamente, dipendente dalla conformazione morfologica naturale, ma piuttosto dalle modifiche apportate dall'uomo. Questo aspetto risulta esplicito dalla figura 3. Possiamo osservare come gli spartiacque morfologici, li caratterizzati dalle linee tratteggiate, in alcuni casi mostrano di non rappresentare un limite per la circolazione delle acque superficiali; l'adozione di queste soluzioni si è resa necessaria a causa della presenza di lunghi tratti di viabilità ortogonali alle massime pendenze, all'esistenza dei nuclei abitati e alla mancanza locale di impluvi e solchi per lo scarico delle acque. Se osserviamo la figura

area scolante (portata di piena o portata di progetto), vista la limitata estensione del bacino imbrifero, si è fatto riferimento al *metodo razionale*, che rappresenta un modello deterministico semplice di formazione delle piene, che non richiede la determinazione di parametri che sarebbero difficili da stimare per la mancanza di misure dirette di portata.

Il calcolo della portata di piena è stato eseguito con la seguente formula:

$$Q_{max}(Tr) = (C * i(Tr) * S) / 3,6$$

dove:

Q_{max}(Tr) è la portata di piena con tempo di ritorno assegnato (m³/s); *C* è il coeff. di de-

- l'analogia con la vita nominale di una costruzione (V_N), così come definita nel D.M. 14 gennaio 2008 (Norme tecniche per le costruzioni), che indica la durabilità minima delle costruzioni, garantendone resistenza e funzionalità. Nel caso specifico si considera che un edificio di civile abitazione venga inserito in una classe d'uso II, con $V_N \geq 50$ anni.

Infine, per il calcolo del coefficiente di deflusso (C_d), si è ricorsi all'indicazione ricevuta dal Centro Studi sui Deflussi Urbani (*Paoletti* 1996), che stima tale componente, secondo la seguente formula:

$$C_d = C_{di} \times I + C_{dp} \times P$$

dove:

C_{di} = coeff. di deflusso per terreno impermeabilizzato; I = la frazione di area impermeabilizzata; C_{dp} = coefficiente in condizioni di permeabilità naturale; P = la quota di area non impermeabilizzata.

La formula indica per tempi di ritorno elevati (Tr 50 anni), di considerare $C_i = 0,95$ e $C_p = 0,5$. Il calcolo effettuato per una superficie impermeabile media per ogni area scolante corrispondente al 70% dell'estensione ($P = 0,3$; $I = 0,7$), ha portato ad un *coefficiente di deflusso di circa 0,8*, che è quello utilizzato nei calcoli.

5. INTERVENTI IN PROGETTO NEI BACINI XE BASSO

Il censimento delle opere idrauliche presenti nell'area in questione ha permesso di verificarne l'efficienza. Partendo da queste valutazioni si è quindi operato nell'ottica del risparmio economico, salvaguardando quelle opere che possono risultare efficienti, alla luce del nuovo sviluppo delle aree scolanti. Il tracciato stradale asfaltato, con un primo tratto a partire dall'alto di competenza comunale e successivamente provinciale, presenta una non idonea configurazione delle pendenze trasversali e longitudinali e un numero, localmente, molto limitato delle opere di captazione delle acque meteoriche o comunque non adeguato alle quantità di pioggia considerate per i dimensionamenti.

Volendo trovare un *giusto compromesso tra efficienza ed economicità*, si è scelto d'intervenire sulla sede stradale con opere più limitate possibili (ottimizzazione degli interventi), non prevedendo una nuova completa asfaltatura; questo ha comportato l'utilizzo delle pendenze del manto stradale esistenti.

Per riuscire in questo scopo abbiamo operato con quattro premesse basilari:

1. suddivisione spinta delle aree scolanti ovvero elevato numero di zone caratterizzate dalla stessa sezione di chiusura (n. 29); questo per cercare di riutilizzare,

in parte, le strutture idrauliche presenti e di contenere al minimo le dimensioni per quelle di nuova realizzazione;

2. ricorso frequente ad opere del tipo: "griglia stradale";
3. contenimento degli interventi nelle parti più antropizzate (nuclei abitati), nel tentativo di creare il minor numero di disagi alla popolazione residente e limitare situazioni operative complesse;
4. frequenti tagli dei flussi d'acqua verso la viabilità, effettuati sui versanti mediante opere d'ingegneria naturalistica (palizzate, canalette legname e pietrame, ecc.);
5. eliminazione di un vecchio impluvio nell'abitato di Lavacchio, a causa della presenza di manufatti lungo il suo corso e alla viabilità provinciale.

La spinta suddivisione in aree scolanti, permette un'alta frammentazione di interventi in lotti funzionali, ovvero la possibilità del loro funzionamento e, quindi, della loro efficienza senza la necessità che l'intervento globale sia terminato. Questo consente un'ottimizzazione della spesa pubblica e un miglioramento della vivibilità dei luoghi già a partire dai primi interventi.

6. RIFLESSIONI CONCLUSIVE

Il Regio Decreto 3267 del 1923 e il successivo Regolamento del 1926 (R.D. n. 1126), introducendo le opere di sistemazione idraulico-forestale, riconoscevano l'importanza della "condotta delle acque" e della "raccolta e ritenuta delle acque" nelle sistemazioni agricole; quegli stessi terreni nei successivi anni hanno subito profonde trasformazioni che li hanno portati all'interno di nuclei urbani, iniziando in tal modo l'inosservanza delle elementari regole di una corretta regimazione. Come se non bastasse anche la parziale noncuranza del più vecchio Regio Decreto n. 523 del 1904, ha permesso tombamenti e restringimenti dei corsi d'acqua, con il risultato finale che le problematiche conseguenti si sono manifestate agli occhi di tutti con una frequenza di accadimento, almeno mensile.

Tuttavia, non si può dire che negli ultimi 20 anni non siano state prodotte ulteriori normative, anche a carattere regionale, per quanto riguarda i Piani forestali e i terreni soggetti al Vincolo Idrogeologico, dove si leggono frequenti indicazioni sulle acque superficiali, di seguito riassunte per sommi capi:

- L'autorizzazione è rilasciata per ogni opera o movimento di terreno che possa alterare la stabilità dei terreni e la regimazione delle acque (TOSCANA)
- Nella modalità di lavorazione dei terreni agrari deve essere sempre assicurato l'immediato smaltimento e la corretta regimazione delle acque piovane (LAZIO);

- Le acque di irrigazione e di scolo, devono essere condotte in corsi d'acqua in modo da non provocare danni alle pendici circostanti (LOMBARDIA);
- Le strade forestali devono prevedere la regimazione delle acque meteoriche attraverso pendenza trasversale verso monte, cunetta, tombini di attraversamento e scarico (PIEMONTE);
- Le acque meteoriche e di irrigazione debbono essere regimate in modo che non procurino danni ai terreni stessi, a quelli limitrofi e alle pendici sottostanti (EMILIA ROMAGNA).

Sull'aspetto della viabilità, il nuovo Codice della strada (1992) ha introdotto interessanti spunti di operatività, specialmente per le opere di manutenzione delle ripe laterali alle strade e sulla condotta delle acque; una casistica questa, che purtroppo resta nella maggior parte dei casi, totalmente ignorata.

Che dire a questo punto? Le regole esistono, ma le incertezze sulla corretta regimazione e smaltimento delle acque superficiali, rappresentano ancora un problema insoluto. Il motivo, a mio modesto parere risiede, proprio, nel tipo d'intervento.

Le *opere di regimazione delle acque* devono essere diffuse su ampi territori ovvero comportare un ampio e meticoloso rilievo, che può apparire non esaltante per il progettista, perché al termine dei lavori, quasi nessuno si accorgerà di quello che è stato creato; per la sua realizzazione sono necessarie verifiche sulle tubazioni esistenti e sui frequenti abusi di allaccio, operazioni non proprio semplici. Inoltre, gli operatori sono a stretto contatto con la popolazione, ovvero con coloro che hanno sollevato il problema, ma che allo stesso tempo, *lo hanno creato*: un rischio continuo! Altri aspetti da non trascurare sono la relativa semplicità nella progettazione e l'aspetto monetario economico.

Le *opere strutturali* sono, generalmente puntuali; non c'è necessità di rilievi particolari e faticosi e i contatti con la popolazione sono limitati e difficoltosi (cantiere). Generalmente sono opere molto costose e una volta terminate risultano ben visibili.

La regimazione delle acque appare, quindi, un'"attività" inferiore per i motivi citati, a tal punto che nella società odierna sembra non godere di grande considerazione. Essa rappresenta una tendenza, una propensione che dobbiamo per forza modificare, anche correndo il rischio di essere considerati tecnici "fuori moda".

Ringrazio la geom. Grazia Di Leva, il geol. Paolo Criscuolo, l'ing. Claudia Nannucci, la geol. Fanny Milano e l'ing. Marco Daddi, colleghi del genio Civile di Massa Carrara.

Un esempio di gestione dei rischi idrogeologici lungo l'asta terminale del fiume Fortore attraverso interventi di tipo strutturale e non strutturale

FEDELE CUCULO⁽¹⁾, ALBERTO DI LUDOVICO⁽²⁾, ANTONIO DI LUZIO⁽³⁾, ANNUNZIATA DI NIRO⁽¹⁾, ORLANDO EMANUELE⁽³⁾, PIETRO FARACE⁽³⁾, SERGIO GASPARRELLI⁽³⁾, MARIA PINA IZZO⁽¹⁾

(1) Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, Campobasso
e-mail: fedele.cuculo@tin.it

(2) ARPA Molise, Campobasso

(3) Regione Puglia Ufficio Coordinamento Strutture Tecniche Prov.li Bari/Foggia (ex Genio Civile), Foggia

INTRODUZIONE

Il fiume Fortore ha un bacino imbrifero complessivo di circa 1.600 Km², di cui circa 1.000 Km² sono sottesi dalla diga di Occhito con una lunghezza del tratto vallivo di circa 70 Km (tratto che si sviluppa dall'invaso di Occhito alla foce).

Alla fine degli anni cinquanta, in agro del Comune di Carlantino, lungo il fiume Fortore veniva ultimata la costruzione dell'invaso di Occhito.

Tabella 1 – Principali caratteristiche dell'invaso di Occhito

Superficie lago	13	Kmq
Bacino imbrifero sotteso	1.012	Kmq
Quota massima di invaso	198,00	m s.l.m.m.
Quota massima regolazione	195,00	m s.l.m.m.
Volume totale	333.000.000,00	mc
Volume utile	250.000.000,00	mc
Volume di Laminazione	42.000.000,00	mc
Volume acque morte	40.000.000,00	mc

Gli organi di scarico comprendono uno scaricatore di superficie e una galleria di scarico di fondo. La galleria di scarico di fondo, realizzata in sponda sinistra, ha l'imbocco a quota 144 m s.l.m.m., è circolare, con diametro interno di m. 8,50, ed ha una lunghezza di metri 370 circa.

Essa è intercettata da due paratoie piane in serie a comando oleodinamico, delle dimensioni di metri 4,30 per 5,00 e può smaltire una portata di 700 m³/s.

Lo scarico di superficie dell'invaso è dimensionato per una portata di 2.100 m³/s. Esso è ubicato in sponda sinistra ed è costituito da una soglia fissa libera sfiorante posta alla quota di 195,00 m s.l.m.m., della lunghezza pari a 112,40 m, e da 3 luci sfioranti, ciascuna della lunghezza di 12,70 m, aventi soglia fissa a quota 192 m s.l.m.m. e munite di paratoie automatiche a ventola.

Le paratoie sono caratterizzate da un funzionamento automatico secondo il quale esse restano alzate fintanto che il livello idrico nel lago non raggiunge quota 195,15 m s.l.m.m. (a tale quota è già superata la quota di sfioro della soglia sfiorante libera). Oltre 195,15 m l'abbassamento graduale delle paratoie

consente un rapido incremento della portata sfiorata.

La notevole capacità laminativa dell'invaso di Occhito ha comportato una riduzione negli anni dei deflussi del fiume e, di conseguenza, una riduzione delle fluenze, sia in termini quantitativi che in frequenza delle piene.

Questa modifica "innaturale" del regime del corso d'acqua, a sua volta, ha provocato una sempre più estesa occupazione antropica della pianura alluvionale.

I rilievi più recenti del fiume Fortore, effettuati nell'ambito degli studi propedeutici alla redazione del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Fortore, hanno indicato le seguenti tendenze evolutive delle sezioni:

"(...)

- sovralluvionamento del corso d'acqua mediamente di circa 1,5 m;
- restringimento delle sezioni stimabile intorno al 30% in termini di area della sezione alla quota del piano campagna;
- presenza di abbondante vegetazione in alveo.

Tale tendenza evolutiva può essere spiegata sulla base delle seguenti considerazioni:

1. l'invaso dell'Occhito per le sue dimensioni rispetto al bacino sotteso presenta una forte capacità laminativa;
2. negli anni passati l'invaso si è di norma mantenuto a un livello inferiore alle soglie di sfioro laminando completamente le piene provenienti da monte (vedi evento del mese di gennaio 2003);
3. gli affluenti del bacino di valle depositano sedimenti che il fiume Fortore non è in grado di movimentare fino al mare, non avendo una adeguata capacità di trasporto;
4. da quando le competenze in materia di manutenzione degli alvei fluviali sono passate dallo Stato alle Regioni, l'assenza di finanziamenti non ha consentito i necessari interventi di manutenzione ordinaria anche minimali.

Dal punto di vista geomorfologico, quindi, è possibile oggi individuare lungo il fiume Fortore:

- un alveo di magra (mediamente largo 40 ml in cui scorre il fiume per circa 365

giorni all'anno) debolmente inciso, con sponde non sempre ben distinte rispetto ai terreni circostanti;

- una pianura alluvionale, racchiusa da ripe alte (mediamente larga 500 metri), interessata dallo scorrimento delle acque del fiume Fortore in piena, anche con valori modesti di portata (piene dell'ordine dei 30 mc/s). (...)"

Nell'ultimo quarantennio, contraddistinto da una continua emergenza idrica, le acque invase dalla diga di Occhito hanno assunto una sempre maggiore importanza strategica (sia per il comparto agricolo che per il potabile) e, pertanto, si è provveduto a sfruttare al massimo la capacità di invaso della struttura idraulica.

Viceversa, negli ultimi anni, e più specificatamente, nel 2003, 2005 e 2009, in periodi di abbondanza idrica, si è avuta la necessità di "alleggerire" la capacità di invaso, sfruttando al massimo la capacità laminativa dell'invaso stesso.

Ovviamente, per poter far funzionare al meglio il sistema "invaso di Occhito – fiume Fortore", occorre che, a valle della diga, il fiume Fortore possa far defluire portate significative, senza creare problemi per la pubblica e privata incolumità, in concomitanza di piene prodotte con un livello di invaso prossimo a quota 195,00 m s.l.m.m. (quota di massima regolazione).

INTERVENTI STRUTTURALI

La Regione Puglia e l'Autorità di Bacino hanno recentemente predisposto un primo stralcio di interventi prioritari, di tipo strutturale, del costo complessivo di circa 12 milioni di euro (cfr. Tabella 2), finalizzati essenzialmente a:

- migliorare le condizioni di deflusso dell'alveo di magra;
- consentire, nelle tratte interessate dai lavori, il transito nell'alveo di magra di portate tali da permettere una gestione più elastica delle eventuali operazioni di laminazione delle piene da parte della diga di Occhito;
- migliorare le condizioni di sicurezza delle principali infrastrutture aumentando i tempi di ritorno dei fenomeni esondativi.

Tabella 2 – Interventi strutturali lungo l'asta terminale del fiume Fortore

Interventi riportati nel Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Fortore					Interventi in corso di esecuzione		
Codice intervento	Comune	Descrizione	Lungh. [m]	Costo [€]	Intervento	Lungh. [m]	Costo [€]
PU_F0006	Carlantino	Spostamento della strada comunale da area inondabile	800	1.200.000,00	Intervento 2	700	709.851,13
RI_F0001	Serracapriola - Lesina	Taglio selettivo della vegetazione, riprofilatura delle sezioni e protezioni di sponda	7.467	2.600.839,69	Intervento 1 + Intervento 4	9.689	6.404.985,68
RI_F0002	Serracapriola - Lesina	Taglio selettivo della vegetazione	2.095	608.149,22			
RI_F0003	Serracapriola - Lesina - San Paolo di Civitate	Taglio selettivo della vegetazione, riprofilatura delle sezioni e protezioni di sponda	19.538	6.049.113,41			
RI_F0004	Serracapriola - San Paolo di Civitate - Torremaggiore	Taglio selettivo della vegetazione e riprofilatura delle sezioni	4.828	1.681.519,26	Intervento 3	6.029	2.367.021,85
				12.139.621,58			9.481.858,66

Gli interventi proposti sono stati considerati prioritari sulla base delle seguenti considerazioni:

- importanza delle infrastrutture interessate dai fenomeni esondativi (Strada Statale n. 16, Autostrada A14 e linea ferroviaria Adriatica);
- esame dei fenomeni esondativi verificatisi negli ultimi anni (2003, 2005 e 2006).

I suddetti interventi sono essenzialmente interventi di manutenzione ordinaria che consentono il transito in sicurezza di portate modeste rispetto alle portate dell'intero bacino, prescindendo dai contributi di laminazione dell'invaso di Occhito:

Portata max smaltibile ante operam

200 – 300 mc/s

Portata max smaltibile post operam

(interventi I Stralcio)

450 – 500 mc/s

Portata max smaltibile post operam

(interventi II Stralcio)

900 mc/s

I valori sopra riportati sono riferiti alle sezioni dell'alveo del fiume, in corrispondenza delle tre principali infrastrutture (S.S.16, Autostrada A14 e linea ferroviaria Adriatica).

Si evince che, ai fini della messa in sicurezza delle tre suddette infrastrutture per portata dell'ordine dei 900 mc/s (corrispon-

denti a tempi di ritorno di 200 anni per il solo bacino di valle), si ha la necessità di eseguire un secondo stralcio di interventi, consistenti essenzialmente nella realizzazione, in corrispondenza delle opere di attraversamento, di opere quali arginature e fornici.

INTERVENTI NON STRUTTURALI

Nell'attesa dell'esecuzione del primo stralcio di interventi e della progettazione e realizzazione del secondo stralcio di interventi, la Regione Puglia, d'intesa con il Consorzio di Bonifica della Capitanata (Ente gestore dell'invaso di Occhito) e con il concorso del Centro Funzionale della Protezione Civile, sia



Figura 1 – Evento marzo 2005: esondazione del fiume Fortore con allagamento dell'autostrada A14 della linea ferroviaria adriatica e della stazione ferroviaria di Ripalta (foto: Regione Puglia).

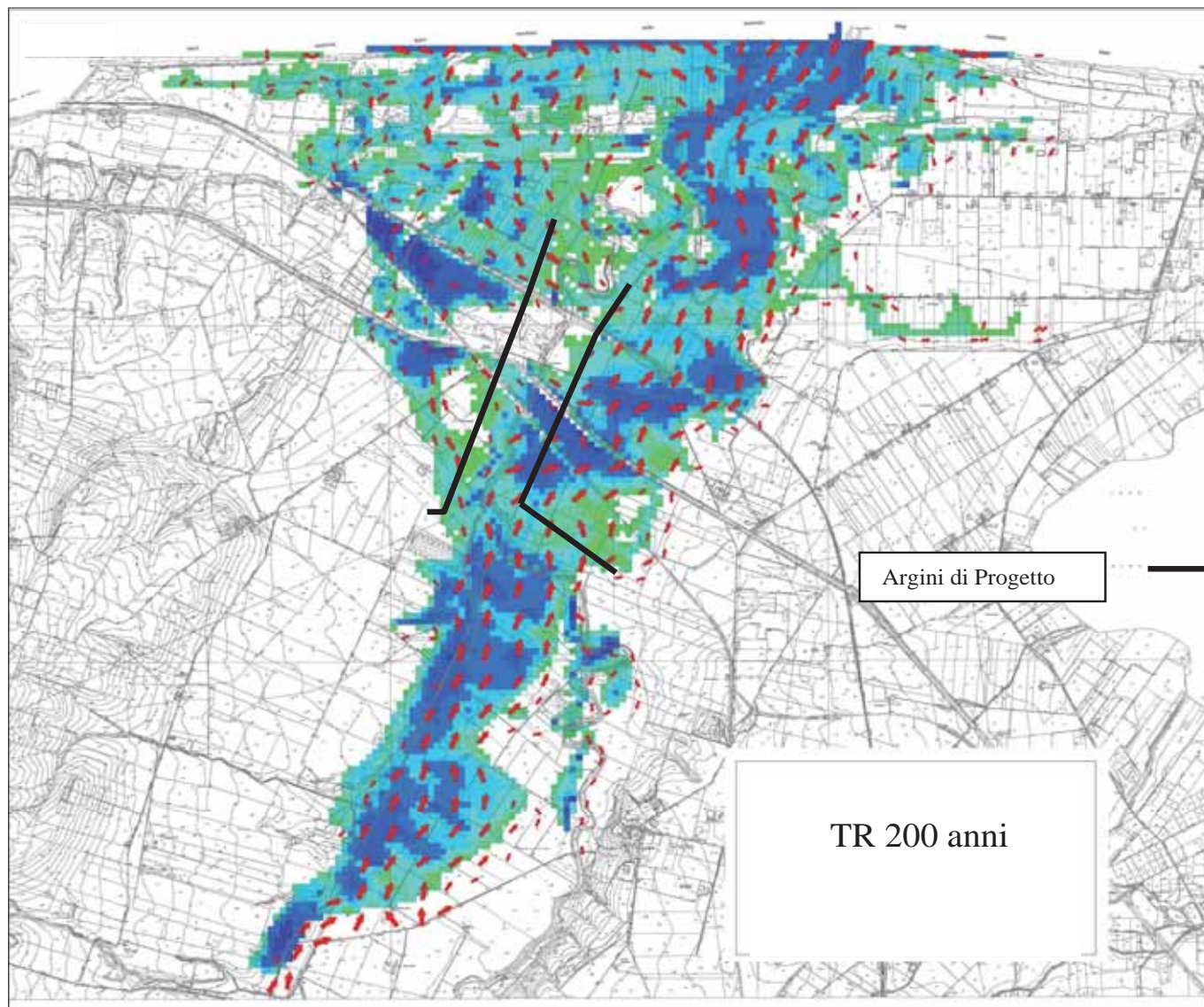


Figura 2 – Simulazione bidimensionale di propagazione dell'onda di piena nello stato ante operam nel tratto terminale del fiume Fortore per un evento di piena con tempi di ritorno di 200 anni (fonte Itaffer) con ubicazione delle arginature previste nel II Stralcio di Interventi (Proposta interventi urgenti di mitigazione del rischio idraulico. Regione Puglia Struttura periferica di Foggia e Autorità di bacino del fiume Fortore -luglio 2010).

nazionale che regionale, e della Struttura Tecnica Prov.le (ex Genio Civile), ha attivato, presso la Prefettura di Foggia, un tavolo tecnico che si riunisce durante il periodo caratterizzato da maggiori precipitazioni e, quindi, da maggiori afflussi, allo scopo di disporre una regolazione dei livelli idrici dell'invaso finalizzata a rendere disponibili maggiori volumi di laminazione.

Al riguardo, il Settore Protezione Civile della Regione Puglia ha conferito incarico al Politecnico di Bari – Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica (DIAC) per la predisposizione di un Piano di Laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul Fiume Fortore, ai sensi della Direttiva P.C.M. 27.02.2004 e s.m.i., concernente "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile".

In attesa della definitiva approvazione del Piano di Laminazione dell'invaso di Occhito, nell'ambito del suddetto Tavolo Tecnico viene

stabilito un programma di regolazione degli scarichi di superficie, che definisce, per ogni periodo dell'anno, in funzione della probabilità del verificarsi di un evento di piena, la posizione delle paratoie mobili a servizio degli scarichi di superficie in funzione di 8 scenari analizzati e fissati nel Piano di Laminazione elaborato.

In sostanza nel suddetto Tavolo Tecnico, in accordo con quanto previsto nel Piano di Laminazione, viene adottato un programma di gestione di tipo statico, di breve periodo, che prevede il mantenimento, con continuità e durante i periodi dell'anno valutati come critici per il verificarsi di eventi di piena, di una quota di invaso determinata in funzione dei prevedibili eventi di piena nei periodi successivi.

Più in dettaglio, il programma di gestione degli scarichi di superficie definisce, ad intervalli regolari di circa 10-15 giorni, la posizione delle paratoie mobili affinché, per un periodo prestabilito di giorni successivo a quello considerato, il volume disponibile

sia sufficiente ad accumulare gli afflussi alla diga con un prefissato rischio di fallanza, riducendo al minimo la probabilità che vengano abbattute le paratoie mobili (raggiungimento della quota di massimo invaso pari a 195 m s.l.m.m.) e che, quindi, si riversino a valle ingenti volumi non compatibili con le attuali condizioni dell'alveo del fiume Fortore. Nel Piano di Laminazione sono state elaborate 8 regole di gestione (scenari) in funzione dei diversi intervalli di aggregazione Dt in giorni (7 o 15 giorni), del tempo di ritorno T in anni (riferito ai volumi cumulati su più giorni consecutivi 10 anni o 5 anni) ed in funzione delle serie storiche utilizzate (serie storica '33 - '63 e serie storica '72 - '05).

Dal punto di vista operativo si procede secondo il seguente schema:

1. all'inizio della stagione invernale (DICEMBRE), sulla base delle condizioni dell'invaso (volumi presenti e, quindi, quota del livello idrico), viene scelta una regola di gestione per la stagione in corso fra quelle studiate nell'ambito del Piano di Laminazione;

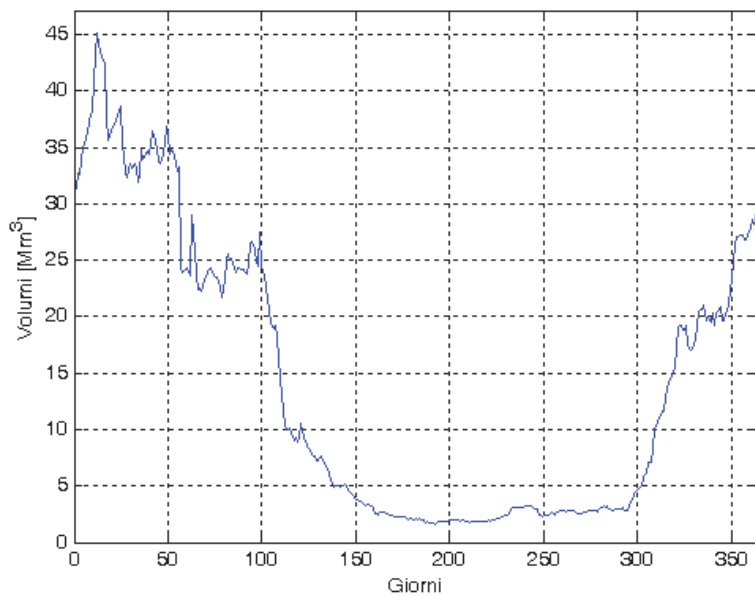


Figura 3 - Scenario n. 7: Volumi attesi all'invaso con $\Delta t = 15$ giorni e $T = 10$, per ogni giorno dell'anno (dati: "Piano di laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul fiume Fortore - 2007").

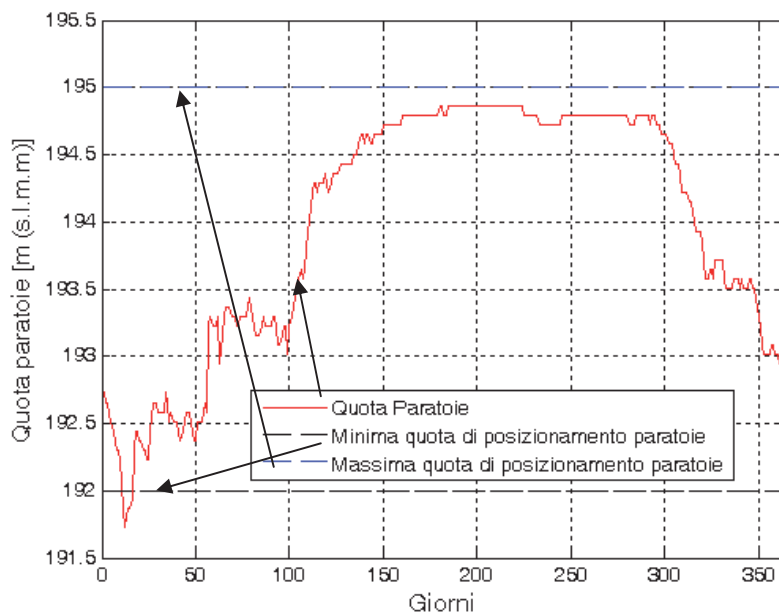


Figura 4 - Scenario n. 7: Quota di sfioro delle paratoie mobili, per ogni giorno dell'anno (dati: "Piano di laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul fiume Fortore - 2007").

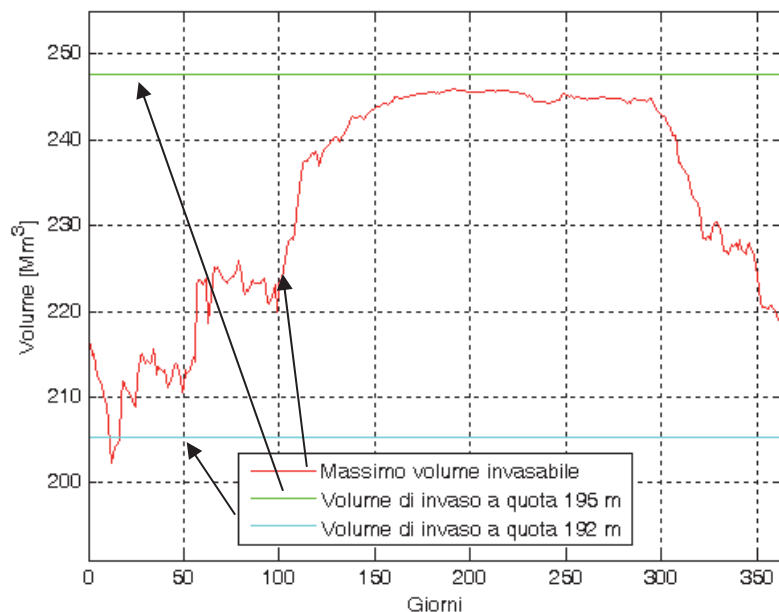


Figura 5 - Scenario n. 7: Volume di invaso corrispondente alla quota di massima regolazione prevista dal piano, per ogni giorno dell'anno (dati: "Piano di laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul fiume Fortore - 2007").

2. con cadenza quindicinale, sulla base delle quote raggiunte dall'invaso e dei livelli idrici suggeriti dalla regola di gestione scelta, vengono fissate le altezze delle paratoie mobili tenendo conto anche e soprattutto delle condizioni:

- del bacino di valle (grado di saturazione dei suoli, previsioni meteo, presenza di fenomeni esondativi in atto);
- dell'alveo di valle (livelli idrici registrati in alveo che storicamente hanno provocato fenomeni esondativi di una certa importanza e pericolosità per la pubblica e privata incolumità);
- delle tre principali infrastrutture (presenza di allagamenti in prossimità della Strada Statale n. 16, dell'Autostrada A14 e della linea ferroviaria Adriatica).

Alla foce, il fiume Fortore sottende un bacino idrografico di circa 1.600 Km², mentre l'invaso di Occhito sottende un bacino idrografico di circa 1.000 Km². In diverse occasioni si sono registrati fenomeni esondativi nel tratto terminale del fiume dovuti esclusivamente al contributo del bacino di valle.

3. in concomitanza di previsioni meteo particolarmente critiche (opportunamente segnalate dalla Protezione Civile nazionale), vengono anche effettuate ulteriori manovre, utilizzando lo scarico di fondo, laddove necessario al fine di accelerare il mantenimento della quota prestabilita.

Nelle ultime stagioni invernali, adottando le precedenti regole di gestione, si è evitato il raggiungimento della quota di 195,00 m s.l.m.m. e, quindi, sono stati evitati fenomeni esondativi dello stesso ordine di grandezza di quello registrato nel marzo 2005.

A titolo esemplificativo, si riporta quanto attuato nell'anno 2010.

Nel corso della riunione del Tavolo Tecnico dell'8 gennaio 2010 veniva rilevata l'altezza dell'invaso pari a 192,80 m. s.l.m.m., che rappresentava il superamento del massimo storico di 192,20 m. s.l.m.m. A seguito della verifica del volume idrico invasato, delle previsioni meteorologiche del periodo e dell'entità del volume ancora disponibile (30.000.000 mc), al fine di consentire il ripristino di una capacità laminativa necessaria per garantire la pubblica e privata incolumità dei territori a valle, conseguente un evento di piena, si conveniva di effettuare un "alleggerimento" dell'invaso mediante un deflusso totale pari a 40 mc/s, eventualmente utilizzando anche lo scarico di fondo. Pertanto, si provvedeva, in pari data, a posizionare le tre paratoie di superficie, rispettivamente, a quota 192 - 192,23 - 194 m s.l.m.m.

Successivamente, in data 18 gennaio 2010, al fine di mantenere la portata costante in uscita, veniva effettuato il riposizionamento delle tre paratoie a quota 192 - 193 - 194

Tabella 3 – Scenario 7: Regola di gestione delle paratoie mobili (dati: “Piano di laminazione preventivo dell’invaso di Occhito sul fiume Fortore, 2007)

Decade	Quota [m. s.l.m.m]	Decade	Quota [m. s.l.m.m]	Decade	Quota [m. s.l.m.m]
1° Gennaio - 10 Gennaio	192,23	10 Maggio - 19 Maggio	194,43	17 Settembre - 26 Settembre	194,79
11 Gennaio - 20 Gennaio	192,00	20 Maggio - 29 Maggio	194,58	27 Settembre - 6 Ottobre	194,79
21 Gennaio - 30 Gennaio	192,23	30 Maggio - 8 Giugno	194,58	7 Ottobre - 16 Ottobre	194,72
31 Gennaio - 9 Febbraio	192,23	9 Giugno - 18 Giugno	194,72	17 Ottobre - 26 ottobre	194,72
10 Febbraio - 19 Febbraio	192,37	19 Giugno - 28 Giugno	194,79	27 Ottobre - 5 Novembre	194,58
20 Febbraio - 28/29 febbraio	192,37	29 Giugno - 8 Luglio	194,79	6 Novembre - 15 Novembre	194,15
1° Marzo - 10 Marzo	192,94	9 Luglio - 18 Luglio	194,79	16 Novembre - 25 Novembre	193,58
11 Marzo - 20 Marzo	193,15	19 Luglio - 28 luglio	194,86	26 Novembre - 5 Dicembre	193,51
21 Marzo - 30 Marzo	193,15	29 Luglio - 7 Agosto	194,86	6 Dicembre - 15 Dicembre	193,51
31 Marzo - 9 Aprile	193,01	8 Agosto - 17 Agosto	194,86	16 Dicembre - 25 Dicembre	193,01
10 Aprile - 19 Aprile	193,29	18 Agosto - 27 Agosto	194,79	26 Dicembre - 31 Dicembre	192,87
20 Aprile - 29 Aprile	194,01	28 Agosto - 6 Settembre	194,72		
30 Aprile - 9 Maggio	194,22	7 Settembre - 16 Settembre	194,72		

m s.l.m.m. e si provvedeva, contestualmente, all'apertura dello scarico di fondo.

In data 2 febbraio 2010, a seguito di avviso meteo con previsione di un'altra consistente perturbazione, il Tavolo Tecnico, rilevata la quota dell'invaso pari a 192.42 m s.l.m.m., con una capacità di laminazione pari a circa 35.000.000 mc, attese le condizioni dell'alveo di valle, decideva il prosieguo dell'alleggerimento dell'invaso con un rilascio complessivo di 20 mc/s, elevabile a 25 mc/s, sulla scorta dell'entità della perturbazione in arrivo e dello stato dell'alveo di valle.

Il 19 marzo 2010, il Tavolo Tecnico, avendo rilevato la quota dell'invaso pari a 192.29 m s.l.m.m., sulla scorta delle previsioni meteo, delle condizioni dell'alveo di valle e degli scenari di regolazione previsti nel Piano di laminazione statico, individuando come scenario di riferimento quello contraddistinto con il n.3, che prevedeva il mantenimento della quota di 192 m s.l.m.m. fino al 31 marzo, decideva, dopo attenta valutazione, di mantenere la citata quota fino al 16 aprile, considerato che, a causa delle condizioni meteo avverse nel frattempo verificatesi, si erano creati problemi alla circolazione ferroviaria e stradale delle infrastrutture presenti verso la foce.

Nella riunione del 16 aprile 2011, avendo rilevato la quota dell'invaso pari a 192.18 m s.l.m.m., pur individuando come scenario di riferimento del Piano di laminazione quello contraddistinto con il n.3, ritenendo però di dover elevare cautelativamente il coefficiente di sicurezza per evitare la possibile interruzione della linea ferroviaria, atteso il contemporaneo blocco della circolazione su rotaia determinato dalla frana lungo la linea Foggia - Benevento in località Montaguto (al fine di evitare un contemporaneo blocco delle due linee ferroviarie Roma - Bari), si conveniva di mantenere il livello di invasore a quota 192 m s.l.m.m., almeno fino al 30 aprile.

Così operando il Tavolo Tecnico riusciva a gestire ben 7 eventi di piena, alcuni dei quali di particolare rilevanza (8/10 gennaio, 10 febbraio, 10 marzo), non superando mai la quota di 193.22 m s.l.m.m., esitando a valle oltre 160.000.000 mc, a fronte di un afflusso di oltre 175.000.000 mc ed un prelievo potabile pari a circa 15.000.000 mc, con conseguente accumulo in diga di circa 1.500.000 mc senza provocare nei territori di valle esondazioni tali da interrompere le tre infrastrutture principali (Strada Statale 16, Autostrada A14 e linea ferroviaria Adriatica).

CONCLUSIONI

L'esempio di gestione (interventi di tipo strutturale e non strutturale) adottato per il tratto terminale del fiume Fortore, in relazione ad:

- una sempre minore disponibilità di risorse idriche e ad una contemporanea sempre maggiore richiesta di acqua;
- una sempre maggiore importanza della pianificazione per i diversi usi della risorsa idrica;
- una condizione di scarsa disponibilità di risorse economiche per la sistemazione dei corsi d'acqua a valle degli invasi (nel nostro paese nella maggior parte dei casi, ultimata la costruzione di una diga, nel tratto valle non vengono quasi mai effettuati interventi di sistemazione e regolazione idraulica);
- una tempistica nell'esecuzione di opere pubbliche non sempre rapida;

può costituire una utile guida per gli enti gestori degli invasi finalizzata all'ottimizzazione dell'utilizzo della risorsa idrica disponibile, garantendo, comunque, che le portate scaricate siano contenute all'interno dell'attuale alveo fluviale e rappresentando un buon compromesso fra l'aumento, nel periodo invernale e primaverile, della capacità di laminazione a scapito della capacità utile

ed il soddisfacimento delle diverse utenze nei periodi estivo ed autunnale di maggior richiesta. Ovviamente la suddetta gestione del fiume e dell'invaso attuata dai diversi Enti competenti sul territorio deve essere inquadrata nell'ambito di una condizione comunque di emergenza per il bacino, ma non può essere interpretata come il raggiungimento di un assetto “di regime” che garantisce idonee condizioni di sicurezza per i territori e per le infrastrutture di valle.

BIBLIOGRAFIA

- AUTORITÀ DI BACINO DEI FIUMI TRIGNO, BIFERNO E MINORI, SACCIONE E FORTORE (2006), *Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del fiume Fortore*.
- REGIONE PUGLIA STRUTTURA PERIFERICA DI FOGGIA E SEGRETERIA TECNICA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME FORTORE (2008), *Interventi di ripristino dell'efficienza idraulica lungo l'asta principale del fiume Fortore a valle della diga di Occhito. Progetto Definitivo*.
- REGIONE PUGLIA SETTORE PROTEZIONE CIVILE E POLITECNICO DI BARI DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLE ACQUE E DI CHIMICA (2007), *Piano di laminazione preventivo dell'invaso di Occhito sul fiume Fortore*.
- TAVOLO TECNICO C/O UFFICIO TERRITORIALE DEL GOVERNO DI FOGGIA, *Verbalì tavoli tecnici emergenze idriche anni 2007-2008-2009*.
- SOCIETÀ ITALFER – PROGETTO PRELIMINARE LINEA PESCARA – BARI TRATTA CHIEUTI – LESINA. *Interventi urgenti di sistemazione idraulica del rilevato di Torremozza e della Stazione di Ripalta*. (2009)
- STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI – A.I.ERRE INGEGNERIA (2010), *“Progetto esecutivo Interventi di ripristino dell'efficienza idraulica lungo l'asta principale del fiume Fortore a valle della diga di Occhito.”* e *“Studio di fattibilità volto all'individuazione di ulteriori interventi prioritari finalizzati all'aumento delle condizioni di sicurezza idraulica del corso d'acqua.”* [per conto Regione Puglia STP di Foggia e dell'Autorità di bacino del fiume Fortore]
- REGIONE PUGLIA STRUTTURA PERIFERICA DI FOGGIA E SEGRETERIA TECNICA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME FORTORE (luglio 2010), *Proposta interventi urgenti di mitigazione del rischio idraulico*.

Un Rilevato Paramassi nella frazione Cretaz a Cogne (AO) Una terra rinforzata con il sistema Terramesh verde di Officine Maccaferri

GIANLUCA UGUCCIONI
Project Manager Officine Maccaferri Spa

PREMESSA

Lo scopo del presente articolo è di illustrare i principi che hanno ispirato la progettazione di un'opera paramassi realizzata a monte della S.R. 47, Aymavilles-Cogne (Valle d'Aosta), in località Pont di Laval, a seguito dell'evento franoso che ha coinvolto la sede stradale nel giugno 2007.

I rilevati paramassi sono costituiti da terrapieni a sezione trapezoidale, che vengono generalmente ubicati in aree sub-pianeggianti a protezione di centri abitati o infrastrutture.

Nella maggior parte dei casi il rilevato è realizzato in terra rinforzata, la quale offre il vantaggio di ottenere una scarpata del

terrapieno sub-verticale con il conseguente risparmio di materiale per la realizzazione, la riduzione degli spazi di ingombro dando una maggior garanzia di arresto del masso, in quanto si riduce il rischio di rotolamento sulla scarpata. Inoltre, i rinforzi inseriti nel rilevato offrono una maggiore resistenza all'impatto garantendo quindi un assorbimento di energia maggiore rispetto a quello che si avrebbe con un rilevato non rinforzato.

A monte del rilevato è buona norma realizzare una trincea avente il duplice scopo di intercettare i massi prima dell'impatto contro il rilevato e raccogliere i blocchi di roccia arrestati.

Le tipologie più frequenti di rilevati paramassi (vedi fig.2) vengono realizzate con muri in gabbioni, in terre rinforzate rinverdibili con rinforzi metallici o sintetici e terre rinforzate con paramento in pietrame e rinforzi metallici.



Fig. 1 Sguardo d'insieme del Rilevato Paramassi Realizzato.

L'opera paramassi è costituita da un rilevato in terra rinforzata realizzata con il sistema Terramesh Verde di Officine Maccaferri.

Nel testo, inoltre, verranno sinteticamente pubblicati i risultati ottenuti dal Politecnico di Torino relativi ad uno studio condotto sull'effetto di un impatto di un crollo di roccia che ha interessato uno dei rilevati costruiti nell'area in esame.

COSA È UN RILEVATO PARAMASSI IN TERRA RINFORZATA

La necessità di porre in sicurezza centri abitati, infrastrutture e qualsiasi altra realtà quotidiana sottoposta a fenomeni di rischio di caduta massi ha fornito i presupposti per lo sviluppo di sistemi contro tali fenomeni con tecnologie volte ad ottimizzare i costi di realizzazione e soprattutto di diminuire i costi di manutenzione.

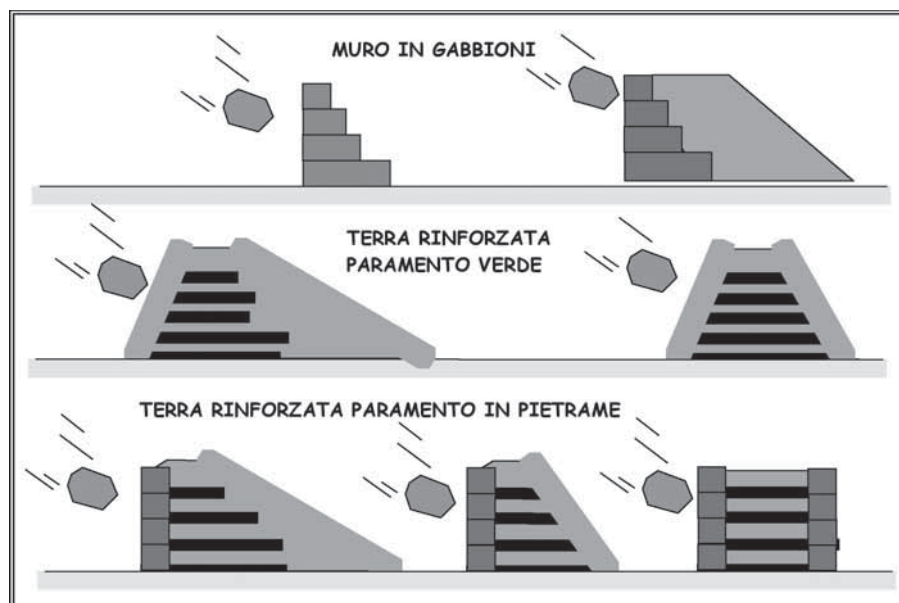


Fig. 2 Tipologie di rilevati paramassi in terra rinforzata.

il peso del blocco stesso, il suo volume, le caratteristiche delle traiettorie percorse e i parametri cinematici del blocco all'impatto: in relazione alle caratteristiche della roccia di cui è costituito il masso instabile, al tipo di terreno su cui rimbalza ed alla irregolarità della superficie topografica, l'impatto, sulla struttura di intercettazione, può avvenire con diverse direzioni, altezze ed energie.

Al momento dell'impatto il blocco di roccia penetra all'interno del rilevato per effetto della forza che esso sviluppa contro lo stesso.

Esistono in letteratura numerose formulazioni empiriche (es: Kar, 1978) che permettono di valutare, in genere sotto ipotesi di un comportamento elasto-plastico del materiale costituente il rilevato e di carico dinamico variabile nel tempo, il valore della forza impulsiva massima, da cui si può risalire alla penetrazione del blocco nell'opera.

Tali formulazioni si sono però spesso rivelate poco realistiche, pertanto il Politecnico di Torino ha sviluppato, sulla base dei risultati di prove di laboratorio (es: comportamento all'interfaccia materiale di rinforzo-terreno) e di indagini in back analysis di eventi (es: studio del comportamento dell'impatto di un blocco di roccia sul rilevato paramassi in località Pont di Laval-Cogne), l'analisi numerica del comportamento di rilevati paramassi in terra rinforzata.

La modellazione numerica è fondamentale per la corretta valutazione del comportamento di questo genere di opere quando sottoposte ad impatti, quindi a forze di tipo impulsivo: il rilevato non può infatti essere considerato un mezzo continuo ed isotropo, ed in condizioni dinamiche è soggetto a grandi deformazioni e plasticizzazione degli elementi, per cui il suo comportamento esula dalle formulazioni della scienza delle costruzioni e della meccanica classica.

IL CASO DI COGNE (VALLE D'AOSTA)

La mattina del 5 giugno 2007, dal versante posto sulla sinistra orografica del torrente Grand Eyvia, in prossimità del ponte di Laval (comune di Cogne, Valle d'Aosta), si è distaccata una frana che ha interessato la S.R. 47 Aymavilles-Cogne. Il crollo di grandi blocchi di roccia (i più grandi dei quali avevano un volume di circa 30 m^3) ha seriamente danneggiato la sede stradale causando così la sua chiusura e quindi l'isolamento del paese di Cogne.

A seguito del crollo, dopo le prime operazioni di disaggio avvenute con l'utilizzo di esplosivo, la situazione di dissesto ha reso necessari altri interventi di messa in sicurezza.

L'Ufficio Tecnico del Servizio Sistemazioni Idrauliche e Dissesti di Versante della Regione Valle d'Aosta, in collaborazione con Officine Maccaferri S.p.A., ha quindi redatto il progetto di realizzazione di due rilevati paramassi in

terra rinforzata: il primo di lunghezza 291 m, avente altezza di circa 10,22 m, e il secondo di lunghezza 50 m, avente altezza analoga. La sezione di entrambi i rilevati presenta una larghezza alla base di 13,33 m e in testa di 3,81 m. I due rilevati sono quindi costituiti da 14 elementi aventi interasse 0,73 m con paramento inclinato di 65° .

La costruzione del rilevato si è conclusa in soli quattro mesi, rispondendo appieno al carattere di urgenza della situazione (fig. 3).

Per la realizzazione di tali opere in terra rinforzata è stato utilizzato il sistema Terramesh, il quale è costituito da unità preassemblate in sede di produzione composte da elementi in rete metallica a doppia torsione plastificata (maglia di 8×10 e filo del diametro di 2,7 e 3,7 e), avente la funzione di rinforzo,

da una rete elettrosaldata di irrigidimento della facciata e da un ritentore dei fini (Figura 4).

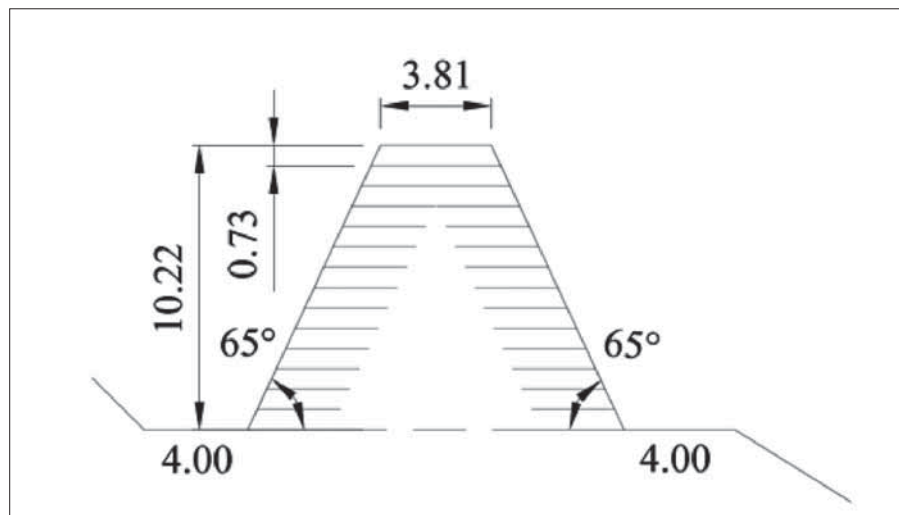


Fig. 3 Schema della sezione geometrica dei rilevati paramassi realizzati.

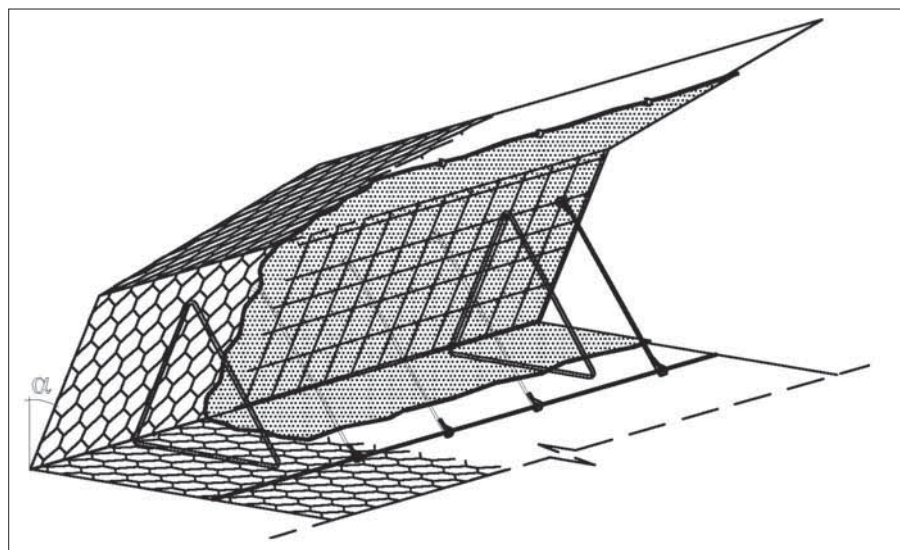


Fig. 4 Dettaglio del sistema Terramesh.

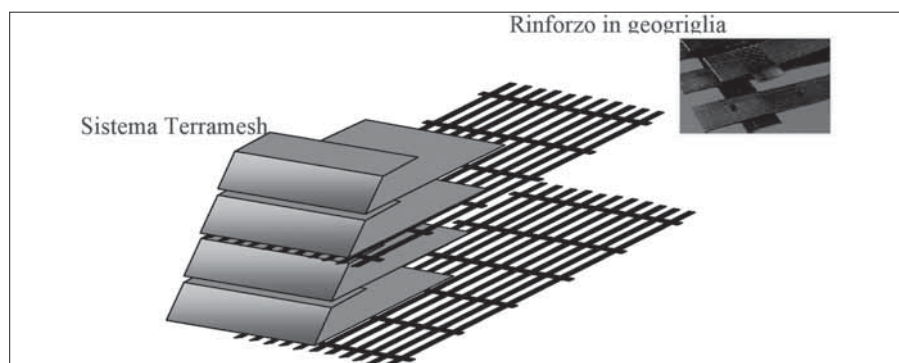


Fig. 5 Dettaglio del sistema dei rinforzi all'interno del rilevato di Cogne.

Densità ρ [kg/m ³]	1900
Modulo di Young E [kPa]	75000; 90000; 110000
Coefficiente di Poisson ν [-]	0.3
Angolo d'attrito Mohr-Coulomb Φ [°]	35

Tabella 1. Valori dei parametri caratteristici del terreno costituente il rilevato.

ogriglie a resistenza variabile, con la funzione di aumentare ulteriormente la resistenza a taglio del terreno, come indicato nello schema seguente (Figura 5).

Le verifiche statiche per il dimensionamento della resistenza, lunghezza e spaziatura dei rinforzi sono state eseguite con codice di calcolo MacStaRS 2000 (Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Soils).

A livello progettuale è stato imposto che il terreno di riempimento dovesse appartenere ai gruppi A1, A2, A3, A-2-4, A-2-5 con esclusione di pezzature superiori a 15 cm (UNI 10006:1963; UNI EN ISO 14688-1:2003). Ogni strato è stato messo in opera con un grado di compattazione pari al 90% del valore fornito dalle prove Proctor (ASTM D 1557). I parametri caratteristici del terreno di riempimento del rilevato, ricavati in parte dalla relazione tecnica di calcolo, in parte dai dati disponibili in letteratura tecnica, sono riportati nella Tabella 1. Il modulo di Young è stato fatto variare poiché non sono disponibili risultati di prove effettuate in fase di costruzione né esistono valori imposti in fase progettuale.

Dopo un anno dalla costruzione del rilevato si è verificato un ulteriore crollo multiplo di blocchi. Questo evento ha consentito di ef-

fettuare uno studio in Back-analysis dell'impatto dei massi rocciosi sul rilevato in terra rinforzata realizzato a Cogne (AO).

In questo contesto è stato modellato l'impatto di un blocco di forma prismatica di dimensioni 2*2*1.5 m, che approssima il blocco di dimensione maggiore che effettivamente ha impattato sulla struttura (Figure 5 e 6). Dalle Figure 7 e 8 si osserva, inoltre, come l'impatto di diversi blocchi sul paramento di monte del rilevato abbia provocato la formazione di una fascia di rottura all'interno dell'opera, mentre le deformazioni non hanno praticamente interessato il paramento di valle.

I livelli di terreno rinforzati sono stati modellati come elementi solidi estrusi con elementi della mesh di tipo brick a 8 nodi (lineari

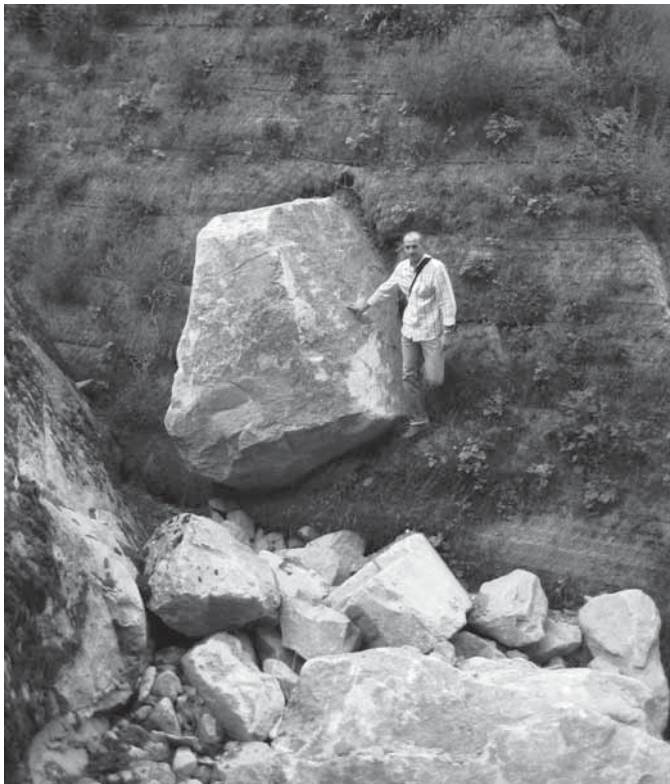


Figura 6. Rappresentazione del blocco di dimensione maggiore che ha impattato contro il rilevato (la sua dimensione è di circa 6 m³).



Figura 7. Particolare del blocco che ha impattato sul rilevato.



Figura 8. Visione aerea del rilevato con i blocchi da esso arrestati (evidenziata dalla freccia la fascia di rottura nell'opera).



Figura 9. Paramento di valle del rilevato (non si osservano deformazioni dovute all'impatto dei blocchi sul paramento di monte).

e a integrazione ridotta). La mesh non è stata assunta uniforme, ma è stata ridotta nei corsi non interessati direttamente dall'impatto per motivi computazionali. Il terreno è stato caratterizzato mediante la legge costitutiva di Drucker-Prager, perché più facilmente caratterizzabile noti l'angolo d'attrito del materiale e la sua coesione, secondo il criterio di Mohr-Coulomb.

Oltre ai parametri caratteristici del comportamento elastico (modulo di Young e coefficiente di Poisson) e alla densità del materiale, al fine di caratterizzare il comportamento plastico sono stati introdotti altri valori:

- $\beta = 55^\circ$: angolo d'attrito caratteristico, calcolato in funzione dell'angolo d'attrito della legge costitutiva di Mohr-Coulomb Φ :

$$\tan \beta = \frac{6 \sin \Phi}{3 - \sin \Phi}$$

- $k = 0.78$: coefficiente pari al rapporto tra la tensione di snervamento ottenuta in condizioni di trazione triassiale e la tensione di snervamento in compressione triassiale, che dipende anch'esso dall'angolo d'attrito della legge costitutiva di Mohr-Coulomb Φ e che deve essere comunque assunto superiore a 0.778:

$$k = \frac{3 - \sin \Phi}{3 + \sin \Phi}$$

- y : angolo di dilatanza del materiale;
- tensione di snervamento, al fine della definizione del comportamento di hardening, assunta pari a 540 kPa, che deriva dall'analisi dei risultati di prove triassiali (quando disponibili).

I parametri caratteristici del terreno introdotti nella modellazione numerica sono riportati in Tabella 2. In parte derivano dalla back-analysis di prove in vera grandezza su rilevati in terra rinforzata effettuate dal Politecnico di Torino.

Al fine di considerare la presenza delle reti metalliche quali elementi di rinforzo della

Densità ρ [kg/m ³]	1900
Modulo di Young E [kPa]	75000; 90000; 110000
Coefficiente di Poisson ν [-]	0.3
Angolo d'attrito Mohr-Coulomb Φ [°]	35
Angolo d'attrito Drucker-Prager β [°]	55
Flow stress ratio k [-]	0.78
Dilatanza ψ [°]	0
Yield stress [kPa]	540

Tabella 2. Valori dei parametri assegnati in fase di modellazione numerica al terreno costituente il rilevato.

struttura, il contatto tra i corsi è stato definito con caratteristiche attritive e coefficiente d'attrito pari a 0.46, valore che deriva dal prodotto della tangente dell'angolo d'attrito del terreno moltiplicata per il coefficiente riduttivo 0.65, suggerito nelle note tecniche MACCAFERRI (2005). Gli elementi shell che rappresenterebbero fisicamente la rete metallica non sono stati introdotti in questa serie di simulazioni per non appesantire troppo la modellazione con un'eccessiva definizione dei contatti.

Dalle back-analysis di prove in vera grandezza effettuate precedentemente si è osser-

stimata pari a 20 m/s (la componente di velocità verticale è stata assunta pari a zero).

Il contatto tra terreno costituente i corsi e la superficie del blocco impattante è stato definito con comportamento ad attrito tangenziale (coefficiente d'attrito di 0.40).

Nella tabella sotto riportata sono riportati i valori di penetrazione del blocco nel paramento di monte e il conseguente spostamento verso l'esterno del paramento di valle in seguito allo scorrimento dei corsi di terreno per effetto dell'impatto del blocco. Tali valori sono funzione del modulo di Young assunto nella modellazione numerica.

Modulo di Young [kPa]	Penetrazione monte [m]	Scorrimento valle [m]
75000	0.74	0.17
90000	0.71	0.07
110000	0.62	0.17

Tabella 3 – Valori di penetrazione del blocco sul paramento di monte e scorrimento dei corsi verso valle in funzione del modulo di Young assunto in fase di modellazione numerica per il terreno costituente il rilevato.

vato come il comportamento d'insieme del rilevato modellato, costituito da corsi di terreno fisicamente separati e soggetto all'impatto di blocchi rigidi, è sufficientemente confrontabile con il comportamento realmente osservato anche in assenza della modellazione di questi elementi.

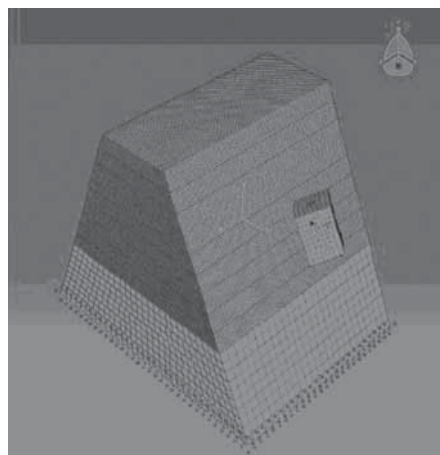


Figura 10. Modello del rilevato e del blocco impattante con indicazione dei vincoli di incastro alla base dell'opera e della componente orizzontale della velocità del blocco poco prima dell'impatto.

Il blocco impattante è stato simulato come un elemento rigido geometricamente definito (2*2*1.5 m) a cui è stata assegnata una massa, pari a 15000 kg, e un certo momento d'inerzia.

La simulazione è stata condotta ipotizzando la peggior condizione di impatto, e cioè quella che vede il blocco che urta di spigolo contro la struttura in terra rinforzata. L'altezza di impatto dal piano di posa del rilevato è di circa 6 m (valore misurato direttamente in situ), mentre la velocità orizzontale è stata

Dai risultati riportati si deduce come lo scorrimento verso valle dei corsi non dipende dal modulo di Young del terreno. Questo parametro influenza invece le dimensioni del cratere che si forma sul paramento di monte: aumentando il modulo di Young, cioè migliorando le caratteristiche di costipamento del terreno che costituisce l'opera, si riduce la penetrazione del blocco nel paramento di monte. È però necessario sottolineare come questo parametro sia solamente convenzionale poiché i fenomeni che si verificano durante l'impatto di un blocco contro un'opera in terra non sono né di tipo elastico né lineare. Si ottiene comunque un range di variabilità limitato per la penetrazione sul paramento di monte compreso tra 0,62 e 0,74 m, mentre lo scorrimento dei corsi verso valle si può considerare variabile tra 0,07 e 0,17 m.

In particolare, facendo riferimento alle prove in vera grandezza effettuate in passato, si è osservato che un rilevato in terra rinforzata soggetto all'urto di un blocco roccioso dissipa l'energia cinetica di questo in 3 modalità distinte: la maggior parte dell'energia (circa l'80%-85%) viene dissipata in modo plastico, si ha quindi la penetrazione del blocco nel rilevato e la conseguente formazione dell'impronta sul paramento di monte, la restante parte dell'energia cinetica sviluppata dal blocco viene invece dissipata per effetto dell'attrito che si ha per lo scorrimento verso valle dei corsi interessati dall'impatto stesso (circa il 15%-20%) e per effetto del costipamento dei grani del terreno nell'intorno della zona d'urto (dissipazione elastica, circa l'1%-2%).

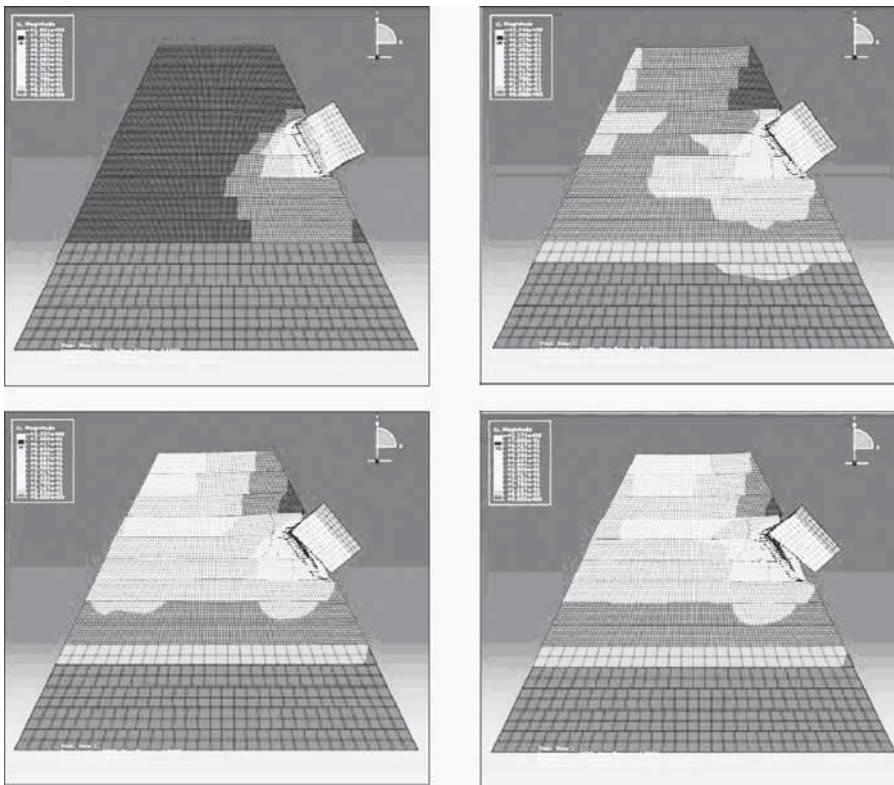


Figura 11. Distribuzione delle sollecitazioni nel rilevato con terreno avente modulo di Young pari a 75000 kPa negli istanti di tempo 0.05, 0.10, 0.15 e 0.20 s dopo l'impatto del blocco sul paramento di monte.

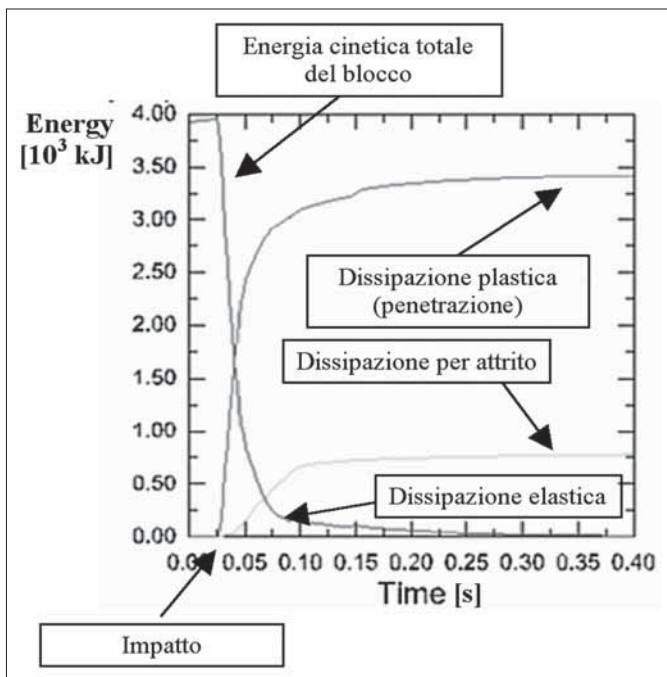


Figura 12 – Grafico rappresentate la modalità di dissipazione dell'energia cinetica del blocco impattante contro il rilevato paramassi di Cogne.

CONCLUSIONE

Da quanto esposto precedentemente si può affermare che i rilevati paramassi in terra rinforzata costituiscono una soluzione affidabile ed efficace per la risoluzione del rischio da caduta massi. Tali strutture permettono, infatti, di contenere non solo urti aventi elevate energie cinetiche, ma anche impatti multipli senza che la struttura debba essere riparata: queste strutture permettono quindi di ridurre, o in alcuni casi eliminare, la necessità di interventi di manutenzione a seguito di impatti in bassa energia aumentando quindi la sicurezza alle zone protette.

BIBLIOGRAFIA

BARLEY A.D. & WINDSOR C.R., 2000, Recent advances in ground anchor and ground reinforcement technology with reference to the development of the art. *GEO 2000 International Conference on Geotechnical and Geotechnical Engineering, Melbourne, 19th-24th November 2000*.

BARTON N.R., 1973, Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engng Geol.*, 7: 287-332.

BARTON N.R. & BANDIS S.C., 1990, Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. In: *Rock joints, proc. int. symp. on rock joints, Loen, Norway, (eds N. Barton and O. Stephansson)*, 603-610. Rotterdam: Balkema.

BIENIAWSKI Z. T., 1989, Engineering rock mass classification. New York: Wiley.

CLERICI A., 2001, Fondamenti di rilevamento geologico-tecnico. *MG Print on Demand*

DEER D.U., HENDRON A.J., PATTON F.D. & CORDING E.J., 1967, Design of surface and near surface construction in rock. In: *Failure and breakage of rock. Proc. 8th U.S. symp. Rock mech., (ed C. Fairhurst): 237-302. New York: Soc. Min. Engrs. Am. Inst. Metall. Petroli Engrs.*

FERRAILO F., 2005, I rivestimenti superficiali. *GEAM Geingegneria Ambientale e Mineraria*, 1: 45-53.

FERRAILO F. & GIACCHETTI G., 2004, Rivestimenti corticali: alcune considerazioni sull'applicazione delle reti di protezione in parete rocciosa. *Atti Convegno "Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio" Trento, Italia.*

FERRERO A.M., MIGLIAZZA M. & GIANI G.P., 2004, Analisi dei parametri geotecnica nella scelta del modello numerico continuo o discontinuo di un ammasso roccioso. *X Ciclo di Meccanica e Ingegneria delle Rocce su "La caratterizzazione degli ammassi rocciosi nella progettazione geotecnica", Torino*, pp. 327-364.

GOODMAN, R. E., 1989, Introduction to Rock Mechanics. New York: John Wiley & Sons.

HOEK E., 2000, Rock Engineering. Edition. <http://www.rocksience.com>

HOEK E. & BROWN E.T., 1980, Underground Excavations in Rock. *Instit. of Mining and Metallurgy, London.*

HOEK E. & BROWN E.T., 1980b, Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng. Div., ASCE*, 106 (GT9): 1013-1035.

HOEK E., CARRANZA-TORRES C. & CORKUM B., 2002, Hoek-Brown failure criterion, 2002 Edition. <http://www.rocksience.com>

HOEK E., KAISER P.K. & BAWDEN W.F., 1995, Support of Underground Excavations in Hard Rock. *A.A. Balkema, Rotterdam.*

KAR A.K., 1978, Projectile penetration into buried structures. *J. of the Struct. Div.*, 104: 125-139.

KAR A.K., 1979, Impactive effects of tornado missiles and aircraft. *Journal of the Structural Division, ASCE*, vol. 105, 2243-2260.

KNIGHT D.G., 1980, Impact penetration of sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 22: 129-135.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1981, Rock Characterisation, testing and monitoring. In: *ISRM suggested Methods. Oxford: Pergamon*

MC CARTY J.I. & GARDEN H.D., 1962, Impact characteristics of various materials obtained by an acceleration-time history technique applicable to evaluating remote largest. *Nat. Aer. And Space Administr., Tech. Mem. D-4454, Hampton, Va*

MARINOS P. & HOEK E., 2001, Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 60 : 85-92.

MONTANI S., DESCOEUDRES F & EGGER P., 1996, Impact de blocs rocheux sur des galeries de protection. *Giornata di Studio "La protezione contro la caduta massi dai versanti rocciosi", ed. GEAM, Torino*: 55-64.

PEILA D. & ORESTE P.P., 2001, Interventi di difesa contro la caduta massi. *Atti Convegno su Opere di Difesa da Caduta Massi. Siusi (BZ), Italia*, pp. 23-40.

ROMANA M., 1985, New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. *Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas*, pp 49-53.

WINDSOR C.R., 1997, Rock reinforcement systems. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 34, 6, 919-951.

ZEBARTH B.J., LEE D. & KAY B., 1984, Impact resistance of three soils under varying moisture subzero temperature conditions. *Canadian Geotechnical Journal*, 21: 449-455.

Barriere flessibili per frane superficiali, test in vera grandezza, modellazione ed esperienze in Italia

JUAN PABLO ESCALLON⁽¹⁾, CORINNA WENDELER⁽²⁾, LOUIS BUIGNON⁽³⁾, GUIDO GUASTI⁽¹⁾, ALBERTO CAPRINALI⁽¹⁾

1. INTRODUZIONE

Con il termine frana superficiale si identifica un flusso gravitativo di materiale caratterizzato da una profondità della superficie di scioglimento inferiore ai 2 metri o comunque laddove lo spessore del materiale instabile è sensibilmente inferiore alle altre dimensioni. Il loro innesco è tipicamente causato da forti fenomeni piovosi, che vanno ad aumentare il grado di saturazione del terreno con conseguente riduzione della resistenza al taglio; allo stesso tempo, la composizione del substrato e l'eventuale presenza di vegetazione giocano un ruolo importante nella stabilità del pendio. La presenza di un bedrock con permeabilità bassa vicino alla superficie del terreno aumenta il rischio di frana. Sono fenomeni di durata molto breve ed imprevedibili; risulta quindi difficile riuscire ad effettuare rilievi e misurazioni durante il loro svolgimento. A differenza delle colate detritiche caratterizzate da flussi gravitativi in alveo, le frane superficiali si manifestano in versanti aperti. Pur mobilitando volumi di materiale saturo relativamente piccoli (indicativamente compresi fra 20 e 500 m³), il loro impatto può

essere notevole in ragione di inclinazione dei pendii superiori a 30° e di velocità prossime ai 10 m/s.

In questa sede si vuole presentare il processo di ricerca e sviluppo che la società GEOBRUGG AG di Romanshorn (Svizzera) ha avviato negli ultimi anni in collaborazione con il WSL di Birmensdorf facendo confluire finanziamenti privati nel progetto KTI che la Confederazione Elvetica favorisce per lo sviluppo tecnologico e lo studio dei fenomeni naturali.

Scopo della ricerca l'implementazione e la definizione di barriere flessibili per la protezione dalle frane superficiali, in alternativa ad opere tradizionali, per mezzo di modellazione numerica e test in vera grandezza.

2. TEST IN VERA GRANDEZZA

Il sito del test individuato per il progetto di ricerca enunciato è una cava dismessa nella comunità di Veltheim, nel cantone Aargau in Svizzera. Il versante utilizzato per i test è costituito da un canale di 8 m di larghezza, 41 m di lunghezza ed un'inclinazione media di 30° (Figura 2). Le sponde del canale sono circa

ghiaia, sabbia, particelle fini e acqua. La miscela viene lasciata sedimentare per qualche ora prima di essere utilizzata nel test.

Alla base del pendio è installata, in tutti i numerosi test svolti, una barriera flessibile lunga 15 metri e alta da 2 a 4 metri, costituita da una rete d'acciaio ad alta resistenza, sostenuta da una struttura di 4 montanti con fondazioni cementate, inclinati di 75° sull'orizzontale ed ancorati al pendio tramite controventi. I montanti definiscono 3 campate di ampiezze variabili da 3,5 a 8 m. La rete è collegata tramite funi di supporto verticali che corrono lungo i montanti e funi di supporto superiori ed inferiori che collegano fra loro i montanti. Le funi di supporto superiori ed inferiori sono ancorate al terreno anche lateralmente così come i controventi, a monte, sono ancorati al terreno con ancoraggi in fune a trefolo. I sistemi di dissipazione (elementi frenanti) sono costituiti da asole inserite lungo le funi di supporto oltre che nei controventi; queste possono dissipare energia durante l'impatto mediante deformazione continua.

L'obiettivo dei test in vera grandezza sostenuti a Veltheim è da un lato la valutazione in termini di velocità, altezza di flusso,



Figura 1 – Area interessata da frane superficiali.



(a)



(b)

Figura 2 – Canale utilizzato per i test (a), e apparato di rilascio (b).

alte 1 m, mentre la superficie è costituita da un substrato roccioso ricoperto da spessori trascurabili di terreno (fino a 10 cm circa).

Nella parte alta del pendio è stato costruito un apparato di rilascio, costituito da un muro alto 1.8 m, la cui parte inferiore è in grado di aprirsi con un meccanismo comandato in remoto; la parte a monte del muro di contenimento è riempita con circa 50 m³ di una miscela di

pressioni d'impatto e forze di taglio generati dalle colate, dall'altro la definizione di carico e deformazione della barriera flessibile sotto l'impatto. Per il raggiungimento degli obiettivi sopra citati, sono stati inseriti alcuni strumenti di misura lungo il canale e sulla barriera (vedere figura 3):

- sensori laser: posizionati in due differenti postazioni al centro del canale, 14 e 26

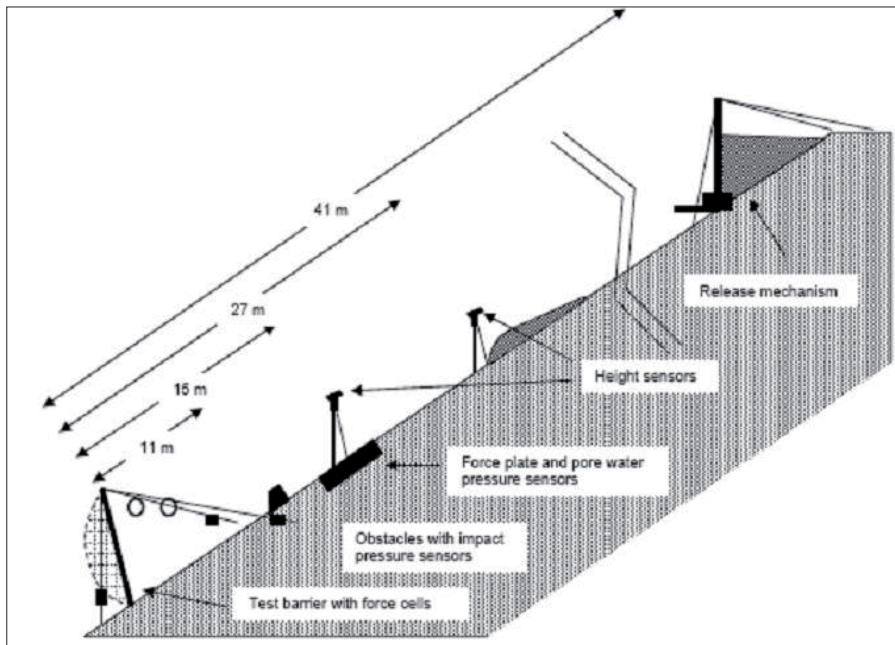


Figura 3 – Strumentazione del versante utilizzato per i test.

Tabella 1 – Riassunto dei dati di test

TEST	velocità media di flusso [m/s]	mass. altezza di flusso [m]	densità [kg/m ³]	contenuto d'acqua [%]	LL [%]	LP [%]	Frazione fine (%)	Frazione di ghiaia (%)
4	6,90	0,55	1850	22	30	17	46	28
5	8,70	0,37	1920	21	28	17	36	40
6	10,00	0,46	1950	24	27	15	21	59
7,1	9,8	0,31	1760	-	29	16	34	33
7,2	9,5	0,63	-	-	32	17	34	35
8,1	7,9	0,36	1840	25	32	15	38	35
8,2	8,7	0,51	1860	23	31	15	31	44
9,1	10	0,26	1790	28	27	13	48	16
9,2	8,6	0,79	-	-	-	-	-	-
9,3	9,8	0,59	-	-	-	-	-	-
10	8,3	0,37	1900	18	-	-	-	-
11,1	8,6	0,37	2060	16	-	-	-	-
11,2	9,2	0,42	-	-	-	-	-	-
12,1	9	0,33	1260	27	-	-	-	-
12,2	8,8	0,37	-	-	-	-	-	-
13,1	7,8	0,41	1880	22	-	-	-	-
13,2	8,5	0,61	-	-	-	-	-	-
14,1	8,9	0,4	2030	17	31	18	25	48
14,2	9,2	0,84	1930	-	-	-	-	-
14,3	8,6	0,72	-	-	-	-	-	-
14,4	8,9	0,78	-	-	-	-	-	-
15,1	8,8	0,34	1830	23	-	-	-	-
15,2	8,9	0,78	-	-	-	-	-	-
16,1	-	0,375	2110	14	-	-	-	-
16,2	8,8	0,65	-	-	-	-	-	-
17,1	8,5	0,43	-	-	-	-	-	-
17,2	8,9	0,55	-	-	-	-	-	-
17,3	8,3	0,57	-	-	-	-	-	-
17,4	7,9	0,54	-	-	-	-	-	-

metri a valle dell'apparato di rilascio. In corrispondenza della seconda postazione, due sensori di distanza sono installati uno accanto all'altro in maniera da valutare la velocità del flusso superficiale attraverso

l'interpolazione dei due segnali di altezza di flusso;

- videocamere di alta velocità, utilizzate come metodo alternativo per la misurazione della velocità del flusso;

- misuratori di forze normali e di taglio, con superficie 0,5 m² e posizionati parallelamente alla superficie del canale;
- celle di pressione, posti 30 m a valle dell'apparato di rilascio. Sono costituiti da due ostacoli, rispettivamente 12x12 cm con altezza 18 cm e 20x20 cm con altezza 26 cm, che misurano le pressioni di impatto al centro del canale;
- 4 celle dinamometriche applicate alle funi di supporto superiore, inferiore e ai controventi;
- rilevatori elettronici per la misura della deformazione della barriera.

La tabella 1 illustra per ciascun test le caratteristiche della miscela utilizzata per simulare la frana o colata, cioè la densità, il contenuto d'acqua, il limite liquido, il limite plastico, la frazione fine e la frazione di ghiaia. Sono anche presentati i dati di altezza massima e di velocità media del flusso.

In figura 4 si illustrano i dati di pressione massima di impatto misurati durante i test.

Sulla base dei valori di pressione dinamica illustrati in figura 4 e sulla base della velocità del flusso v e della sua densità ρ sono stati calcolati i coefficienti di pressione dinamica C_D nel modo seguente:

$$C_D = \frac{P}{\rho v^2 / 2}$$

dove:

C_D è il coefficiente di pressione [adimensionale];

ΔP è la pressione dinamica in [Pa];

ρ è la densità in [kg/m³];

v è la velocità del flusso misurata sulla postazione 3 (10 m a monte della barriera) in [m/s].

In figura 5 si illustrano i valori di coefficiente di pressione dinamica ottenuti nei diversi test realizzati. I dati misurati tramite la cella piccola sono maggiori di quelli misurati con la cella grande per effetti di scala. Sono stati considerati pertanto in questa sede i valori di pressione misurati con la cella grande.

I valori del coefficiente di resistenza dinamica misurati con la cella grande variano da 0,15 a 0,87, i valori più alti riguardano le miscele con maggiore contenuto di frazione di ghiaia (48%), minore contenuto d'acqua (17%), e maggiore peso di volume (2.100 kg/m³), mentre i valori più bassi riguardano le miscele con maggiore contenuto di frazione fine (48%), maggiore contenuto d'acqua (28%) e minore peso di volume (1.800 kg/m³). Sulla base delle sperimentazioni su colate di fango, è da ritenersi ragionevole un valore di C_D pari a 0,7 (Wendeler, 2010), mentre per colate di tipo granulare, è ragionevole un valore di C_D pari a 2 (Armanini, 2002).

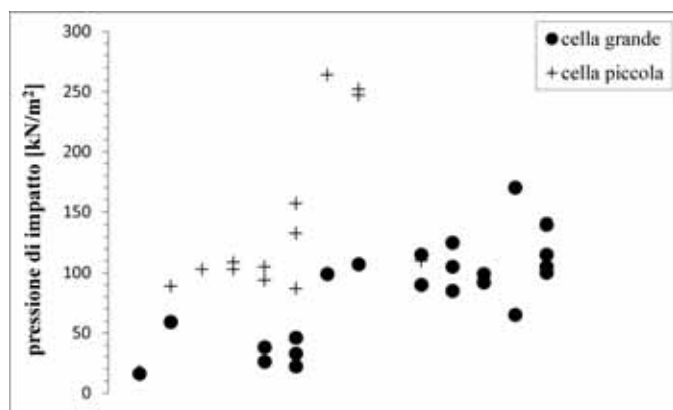


Figura 4 – Dati misurati di pressione di impatto per i test 4 a 17.

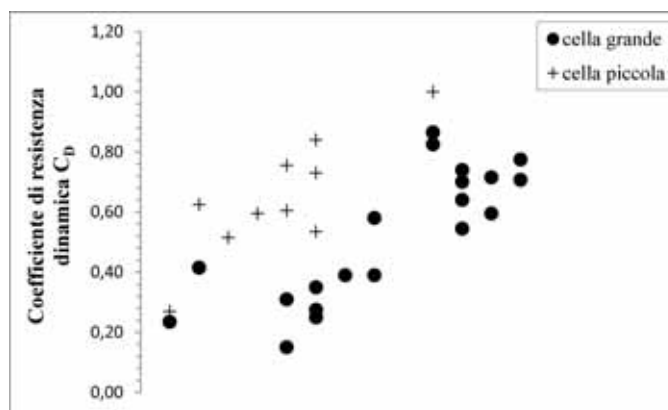


Figura 5. Coefficienti di resistenza dinamica C_D per i test 4 a 17.

Nelle tabelle 2 e 3 si elencano le componenti principali delle barriere di prova più recenti, cioè dal test 8 al 17. I valori di pressione di impatto in questi test variano da 38 kN/m² fino a 170 kN/m², tenendo soltanto conto dei valori di pressione misurati dalla cella grande.

140 kN/m² e 170 kN/m², facendo sempre riferimento ai dati misurati sulla cella grande. La rete TECCO® utilizzata ha un diametro del singolo filo di 4 mm, e un diametro del cerchio inscritto nella maglia di 65 mm. La rete a trefoli SPIDER®, è costituita da singoli fili di 4 mm di diametro, e il cerchio inscritto

di disposizione di controventi, cioè I, V e W. La I sta per 1 solo controvento per montante, mentre la tipologia V e W sta per 2 controventi per montanti la differenza tra V e W sta nel fatto che W usa 1 ancoraggio di monte per 2 controventi, mentre V segnala la presenza di 1 solo ancoraggio di monte per controvento.

Tabella 2 – Componenti della barriera; con TECCO®, SPIDER® e ROCCO® sono indicati i nomi commerciali di GEOBRUGG AG delle reti impiegate nelle barriere flessibili contro le frane superficiali

Test	N° campate	Lunghezza [m]	Altezza della barriera [m]	Reti		
				Primaria	Secondaria	Terzo telo
8	3	5+5+5	3.5	SPIDER® S4 130	50x50mm	-
9	3	5+5+5	3.5	ROCCO® 7/3/300	50x50mm	25x25mm
11	3	5+5+5	2	TECCO® G65/4	-	-
12	3	3,5+8+3,5	3.5	ROCCO® 7/3/300	50x50mm	25x25mm
14	3	5+5+5	4	SPIDER® S4 130	50x50mm	-
15	3	5+5+5	2	TECCO® G65/4	-	-
16	3	3,5+8+3,5	3.5	ROCCO® 12/3/300	50x50mm	25x25mm
17	3	5+5+5	3.5	SPIDER® S4 130	50x50mm	-

Tabella 3 – Componenti della barriera

Test	Fune di supporto inferiore				Fune di supporto superiore				controventi				
	N	tipo	n° freni per fune	tipo freno	N	tipo	n° freni per fune	tipo freno	N	tipo	Dispos.	n° freni per fune	tipo freno
8	1	ø22mm	2	GS-8002	1	ø22mm	2	GS-8002	4	ø22mm	I	1	GS-8002
9	1	ø20mm	2	GS-8002	1	ø20mm	2	GS-8002	4	ø20mm	I	1	GS-8002
11	1	ø18mm	2	GS-8002	1	ø18mm	2	GS-8002	4	ø22mm	I	0	-
12	1	ø22mm	2	GN-9017	1	ø22mm	2	GN-9017	4	ø22mm	I	1	GN-9017
14	1	ø22mm	4	GS-8002	1	ø22mm	4	GS-8002	4	ø22mm	I	1	GS-8002
15	1	ø20mm	4	GS-8002	1	ø20mm	4	GS-8002	4	ø20mm	I	0	-
16	1	ø22mm	2	GN-9017	1	ø22mm	2	GN-9017	8	ø22mm	V / W	1	GS-8002
17	1	ø22mm	4	GS-8002	1	ø22mm	4	GS-8002	8	ø22mm	I / W	1	GS-8002

I prototipi di prova di barriera a rete TECCO® sono concepite per resistere all'impatto di una frana con un volume inferiore a 50 m³ e di conseguenza si ritiene sufficiente una altezza della barriera di 2 m. Dall'altro canto le barriere a rete SPIDER® e a rete ROCCO® sono concepite per volumi superiori ai 50 m³, dunque vengono considerate altezza dai 3 fino ai 4 m.

Le pressioni di impatto massime applicate ai sistemi con rete TECCO®, SPIDER® e ROCCO® sono rispettivamente 107 kN/m²,

nella maglia è di 130 mm. Per ultimo, la rete ad anelli ROCCO® realizzata con fili di 3 mm di diametro di avvolgimenti variabili da 7 a 12, con un diametro degli anelli di 300 mm. Tutte le reti sono in acciaio con una resistenza di almeno 1770 MPa.

A seconda del volume di materiale o numero di impatti e della pressione massima applicata, sono state variate le tipologie di asole frenanti e il loro numero per fune, il diametro delle funi e la disposizione degli ancoraggi. Nella tabella 3 si illustrano tre tipologie

Infatti per i maggiori volumi di materiale impattante la barriera, con un numero successivo di rilasci da 2 a 4, è stato necessario utilizzare una disposizione di ancoraggio combinata V/W o I/W.

3. SCHEMA DI CARICO

Nella ricerca sviluppata da Wendeler (2010) per quanto riguarda le colate detritiche o di fango che impattano una barriera flessibile, è stato ipotizzato uno schema di carico il quale permette di calcolare le forze

agenti sulle funi di supporto con una deviazione rispetto ai dati misurati nei test intorno al 10%.

Il programma combina nuovi approcci che permettono la simulazione delle componenti della singola barriera per via di elementi di-

la quale dipende della deformazione totale relativa ε ; in altre parole le funi si comportano come una corda e perciò maggiore è la defor-

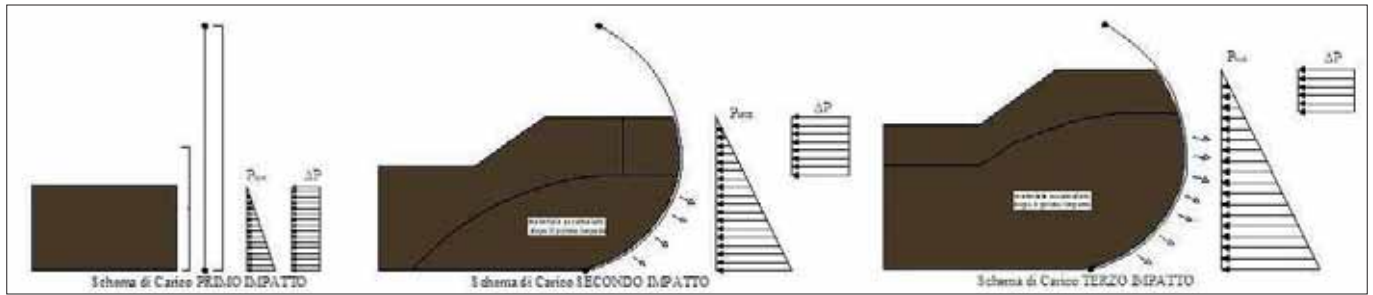


Figura 6 – Schema di carico adottato.

Lo schema di carico ipotizzato in quella ricerca è dato dalla contemporaneità del carico dinamico ΔP e del carico statico P_{hyd} dovuto al materiale trattenuto dalla barriera; i termini L_d ed L_s rappresentano la larghezza su cui agiscono rispettivamente il carico dinamico ed il carico statico. Lo schema di carico è illustrato nella figura sottostante. È importante sottolineare come la componente dinamica è predominante rispetto alla componente statica per quanto riguarda le frane superficiali.

Le pressioni agenti sulla barriera vengono calcolate nel seguente modo:

$$\text{pressione dinamica} = \Delta P = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot v^2$$

$$\text{pressione idrostatica} = P_{hyd} = \rho \cdot g \cdot h_s$$

dove:

ρ è la densità del materiale del materiale movimentato

C_D è il coefficiente di pressione dinamica

v è la velocità media del flusso (velocità della colata)

g è l'accelerazione della gravità;

h_s è l'altezza media del materiale accumulato dietro la barriera

Lo schema di carico descritto è stato adottato congruentemente, ma ciò non ha evitato la necessità di calibrare meglio l'altezza media del deposito accumulato dietro la barriera, nonché la sua larghezza effettiva. In altre parole in tutti i test il materiale depositato dietro la barriera si è accumulato per una larghezza superiore a quella del versante di prova (8 m) dovuto alla deformazione della barriera dopo gli impatti permettendo l'uscita di materiale dalle sponde del versante di prova.

4. MODELLAZIONE NUMERICA

È stato realizzato un processo di modellazione numerica su due test realizzati sul campo prova a Veltheim; i due test modellati sono il test n°9 e il test n°16. La modellazione numerica è stata realizzata utilizzando il programma FARO sviluppato da Axel Volkwein (2004).

creti con un' enfasi speciale sulla connessione di tipo non rigido tra anelli e funi. Questi elementi discreti sono connessi tra loro per mezzo dei nodi.

Come nota la barriera è composta essenzialmente da montanti, asole frenanti, funi di supporto e controvento e reti di intercettazione. Non rientrano nella modellazione gli ancoraggi, in quanto elementi fissi al suolo e considerati per semplicità indeformabili.

• Montanti

Sono modellati utilizzando elementi tipo biella con un modello di comportamento di tipo lineare elastico.

• Asole frenanti

Anch'esse sono modellate utilizzando elementi tipo biella con un modello di comportamento non lineare, il quale viene approssimato in modo lineare tramite una spezzata.

• Funi

Gli elementi che modellano le funi, sono composti da una molla e diversi nodi intermedi, aventi una unica forza di trazione su tutta la sua lunghezza come si illustra in figura 7. Il modello utilizzato permette di valutare le perdite di energia per effetti di attrito e permette lo scivolamento delle funi sui supporti. La forza di trazione N varia secondo la funzione $f(\varepsilon)$,

maggiore è il carico che prendono.

Sulle funi di supporto superiore e inferiore sono agganciate le reti di intercettazione. Le reti, al momento dell'impatto, sono libere di scorrere lateralmente secondo un meccanismo che ricorda il movimento di un sipario. L'effetto sipario può essere modellato con il medesimo approccio, come si illustra nella figura 8.

• Reti ad anelli

Gli anelli della rete sono modellati tramite elementi finiti, e sono disponibili 2 modelli, uno con 4 nodi, l'altro 8 nodi (Grassl, 2002).

La figura 9 illustra la discretizzazione della rete ad anelli e il modello meccanico di un anello composto da 4 nodi. Il singolo anello è caratterizzato da due molle diagonali e una singola molla perimetrale. Quest'ultima collega i nodi circostanti proprio come l'elemento fune spiegato in precedenza. Le molle diagonali hanno una rigidità uguale a k_b , mentre la molla perimetrale ha una rigidità pari a k_t ; quest'ultima comincia a sviluppare la sua resistenza fino ad arrivare alla sua resistenza a trazione N_{max} , dopodiché la deformazione totale è uguale a l_{min} .

I parametri k_b , l_{min} , k_t e N_{max} sono stati calibrati per via di prove quasi-statiche e dipendono del numero di avvolgimenti del filo unitario di diametro 3mm in acciaio ad

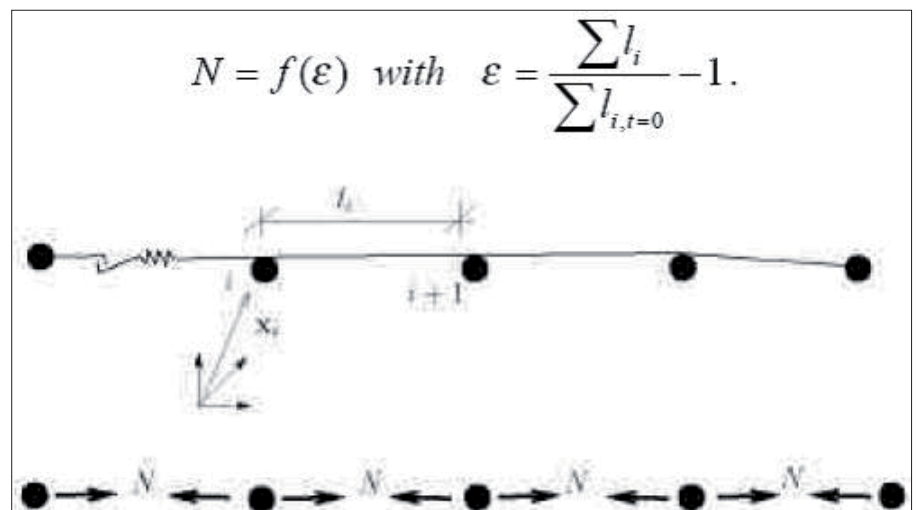


Figura 7 – Elemento fune, composto da una molla.

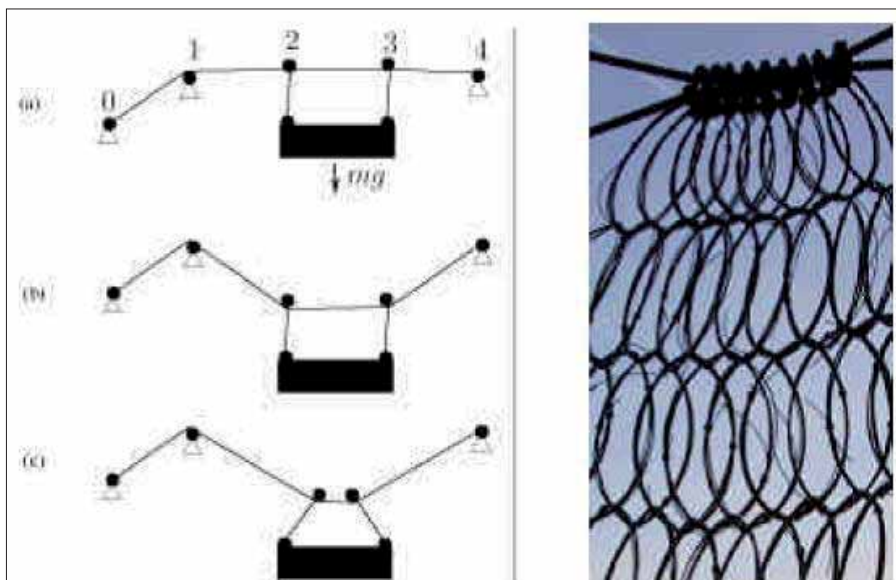


Figura 8 – Simulazione dell'effetto sipario.

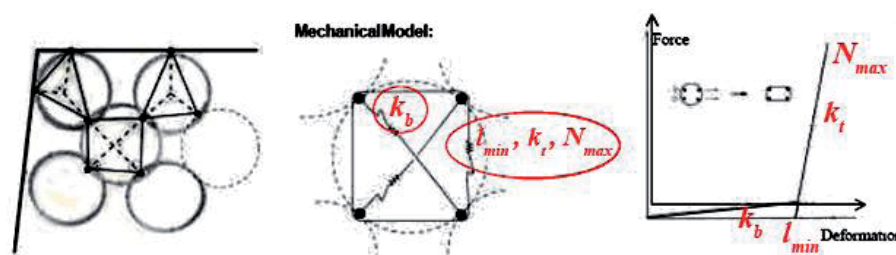


Figura 9 – Discretizzazione della rete ad anelli in elementi finiti tramite anelli composti da 4 nodi.

alta resistenza della rete ad anelli, che può variare da 7 a 19 nell'ambito della produzione GEOBRUGG AG.

Una descrizione molto più dettagliata del programma FARO e del suo approccio numerico si può trovare in Volkwein (2004, 2005).

METODI PER LA MODELLAZIONE DELLE RETI A TERRA

Utilizzando diversi approcci di modellazione tramite il programma FARO si ottiene come output dal programma la percentuale della resistenza mobilizzata dei singoli componenti, dal 0% in viola fino al 100% in rosso (figure 10 a 12), e l'andamento della forza sulle funi con il tempo.

MODELLO 1

Bugnion e Wendeler (2010) mediante l'iterazione dell'equazione della corda hanno valutato la forza trasmessa alle reti a terra. Attraverso un processo di *back analysis*, basandosi sui risultati dei primi otto test realizzati sul campo prova, è stato stimato che le reti a terra ricevono approssimativamente il 50% del carico del primo impatto.

Il primo approccio di modellazione è stato dunque quello di ridurre la pressione dinamica del primo impatto del 50%; anche la pressione idrostatica corrispondente al materiale accumulato dietro la barriera dopo il primo impatto viene ridotta del 50% come approccio di modellazione in questa sede. Nella figura 10 si illustra il modello del test 9 dopo l'ultimo impatto.

MODELLO 2

Il secondo approccio consiste nel sostituire le reti a terra con funi a trefolo, inizialmente con $f_y = 1.770 \text{ MPa}$, e $d = 20 \text{ mm}$, fissate alla fune di supporto inferiore ed ancorate

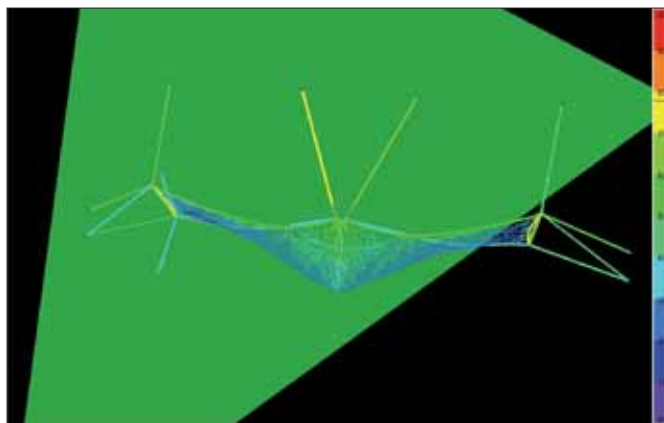


Figura 10 – Modello 1 post test, prova 9.

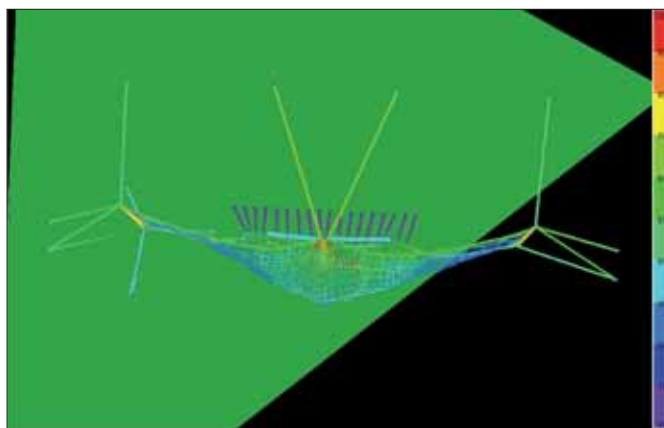


Figura 11 – Modello 2 post test, prova 9.

alle estremità al terreno. Mediante *back analysis*, sono stati individuati i parametri delle funi che simulano la rete a terra. Nella figura 11 si illustra il modello del test 9 dopo l'ultimo impatto.

La rigidità delle funi che simulano le reti a terra è stata ridotta per permettere la deformazione della fune di supporto inferiore in modo tale di giungere ad un comportamento più aderente alla realtà osservata. Gli altri parametri delle funi che simulano le reti a terra non sono variati. È importante capire che la rigidità deve essere ridotta per simulare anche il comportamento degli anelli della rete ROCCO®, i quali come illustrato in precedenza devono deformarsi fino ad arrivare al valore di lunghezza l_{min} perché comincino a sviluppare la loro resistenza fino a rottura. In modo approssimato la rigidità di queste funi è stata ridotta per tre ordini di grandezza.

MODELLO 3

L'ultimo approccio consiste nella modellazione della rete a terra ROCCO® (figura 12), la quale viene fissata al terreno come fatto nel test. Come risultato del processo di *back analysis*, è stato necessario applicare un leggero incremento al numero degli avvolgimenti della rete ROCCO®. Nella seguente figura si illustra il modello del test 9 dopo l'ultimo impatto.

Nelle tabelle seguenti è riportato il confronto fra le forze massime ottenute dai test in vera grandezza e le forze massime ottenute mediante il programma FARO, con relativa deviazione percentuale.

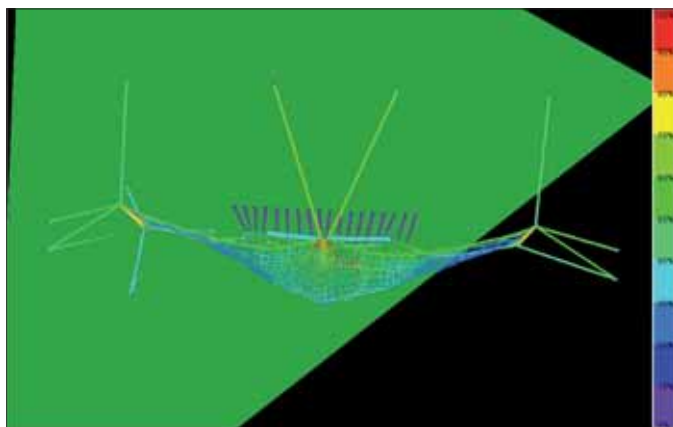


Figura 12 – Modello 3 post test, prova 9.

L'installazione principale è stata in luoghi colpiti da recenti fenomeni meteorologici eccezionali.

Il primo ottobre del 2009 sono stati registrati nella stazione di St. Stefano di Briga 223 mm di pioggia in 7 ore con una intensità di picco di 10,6 mm in 5 minuti (Maugeri e Motta, 2011), che hanno innescato imponenti colate detritico-fangose dai ripidi versanti soprastanti centri abitati, arterie stradali e ferroviarie. Gli eventi hanno generato 37 vittime e danni per centinaia di milioni di Euro in 14 località, soprattutto a Giampilieri e Scaletta Zanclea.

Tabella 4 – Valori massimi durante il primo impatto

Componenti	TEST n°9	Modello 1	deviazione	Modello 2	deviazione	Modello 3	deviazione
fune di supporto inferiore	75 kN	72 kN	- 4%	67 kN	- 11%	67 kN	- 11%
controventi (valore max)	50 kN	valori non significativi		valori non significativi		valori non significativi	

Tabella 5. Valori massimi durante il secondo impatto

Componenti	TEST n°9	Modello 1	deviazione	Modello 2	deviazione	Modello 3	deviazione
fune di supporto inferiore	97 kN	95 kN	- 2%	100 kN	+ 3%	95 kN	- 2%
controventi (valore max)	135 kN	118 kN	- 13%	125 kN	- 7%	125 kN	- 7%

Tabella 6. Valori massimi durante il terzo impatto

Componenti	TEST n°9	Modello 1	deviazione	Modello 2	deviazione	Modello 3	deviazione
fune di supporto inferiore	120 kN	110 kN	- 8%	117 kN	- 3%	108 kN	- 10%
controventi (valore max)	160 kN	146 kN	- 9%	175 kN	+ 9%	170 kN	+ 6%

Tabella 7. Valori massimi durante il primo impatto

Componenti	TEST n°9	Modello 1	deviazione	Modello 2	deviazione	Modello 3	deviazione
fune di supporto superiore	60 kN	25 kN	- 58%	25 kN	- 58%	25 kN	- 58%
fune di supporto inferiore	44 kN	90 kN	+ 104%	47 kN	+ 7%	40 kN	- 9%
controventi (valore max)	20 kN	valori non significativi		valori non significativi		valori non significativi	

Tabella 8. Valori massimi durante il secondo impatto

Componenti	TEST n°9	Modello 1	deviazione	Modello 2	deviazione	Modello 3	deviazione
fune di supporto superiore	180 kN	200 kN	+ 11%	200 kN	+ 11%	190 kN	+ 5%
fune di supporto inferiore	125 kN	190 kN	+ 52%	145 kN	+ 16%	117 kN	- 6%
controventi (valore max)	114 kN	120 kN	+ 5%	120 kN	+ 5%	110 kN	- 3%

5. MODELLI COMMERCIALI DELLE BARRIERE FLESSIBILI PER FRANE SUPERFICIALI

I test in vera grandezza e le modellazioni e gli studi che li hanno seguiti e che a loro volta hanno permesso di ottimizzare il numero di funi di supporto, asole frenanti e controventi, nonché la disposizione di questi ultimi, hanno avuto il pregio di riuscire a definire fondamentalmente due modelli di barriere contro le frane superficiali o SL dall'inglese *Shallow Landslide* da parte della GEOBRUGG AG. I modelli si differenziano per l'altezza massima che possono raggiungere.

Ulteriore differenza consiste nella tipologia di rete impiegata nella sovrastruttura di intercettazione e nella distanza tra i montanti

che a sua volta influisce sulla pressione massima combinata (dinamica/statica) che sono in grado di sopportare con sufficiente margine di sicurezza.

Nelle figure 13 e 14 sono riportati i disegni dei sistemi ed alcune fotografie dei dettagli dei due modelli, che per riepilogare sono SL-150 a rete SPIDER® e SL-100 a rete TECCO®, dove con 150 e 100 si specifica la pressione massima in kN/m² che le barriere sono in grado di sostenere.

6. ESPERIENZE IN ITALIA

La ricerca di cui si è detto nella presente nota e i risultati ottenuti hanno trovato applicazione pratica in alcune installazioni in Italia ed all'estero.

Dall'esame di quanto accaduto, si è compreso che le grandi colate detritiche hanno avuto inizialmente origine da piccoli smottamenti superficiali, localizzati in punti non identificabili a priori lungo il versante, confluiti poi in incisioni vallive. La proporzione fra detrito di varia pezzatura e fango, che ha composto le grandi colate è dipesa dalla tipologia del sedime franato, eroso e quindi trasportato.

Nell'ambito dei lavori di Somma Urgenza realizzati a protezione della S.P. 33 di accesso al nucleo abitativo e ad altri centri, sono state installate anche delle barriere SL per un totale di oltre 150 metri lineari.

Le barriere SL sono state installate subito a valle di variazioni di pendenza dei versanti,

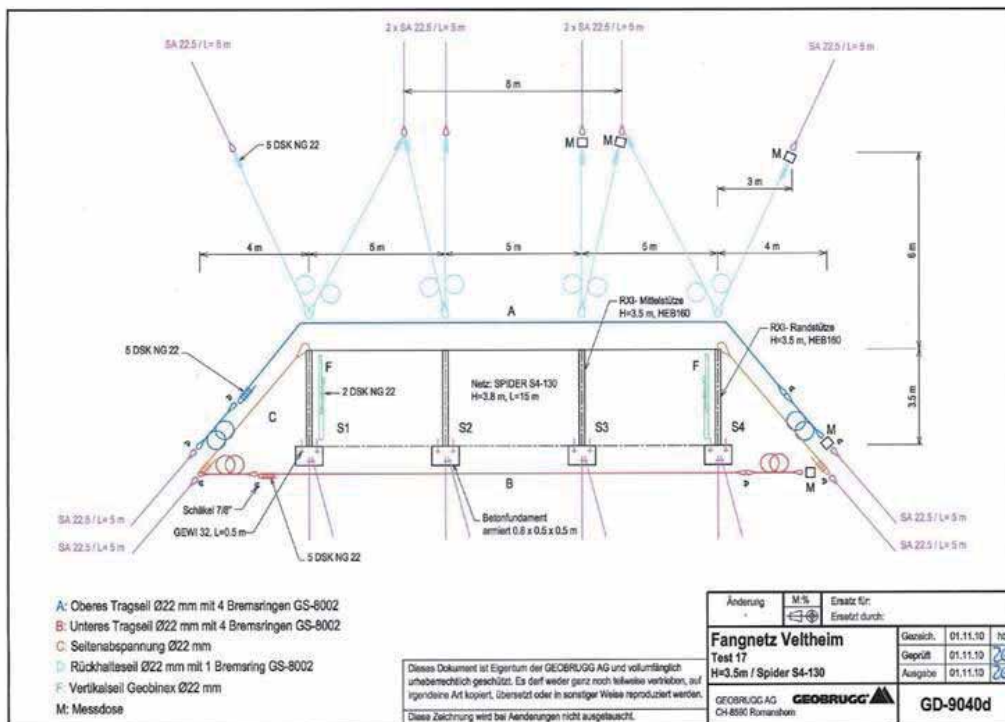


Figura 13 – Modello SL-150 a rete SPIDER® e doppi controventi di monte, altezze disponibili 3 m, 3,5 m e 4 m.

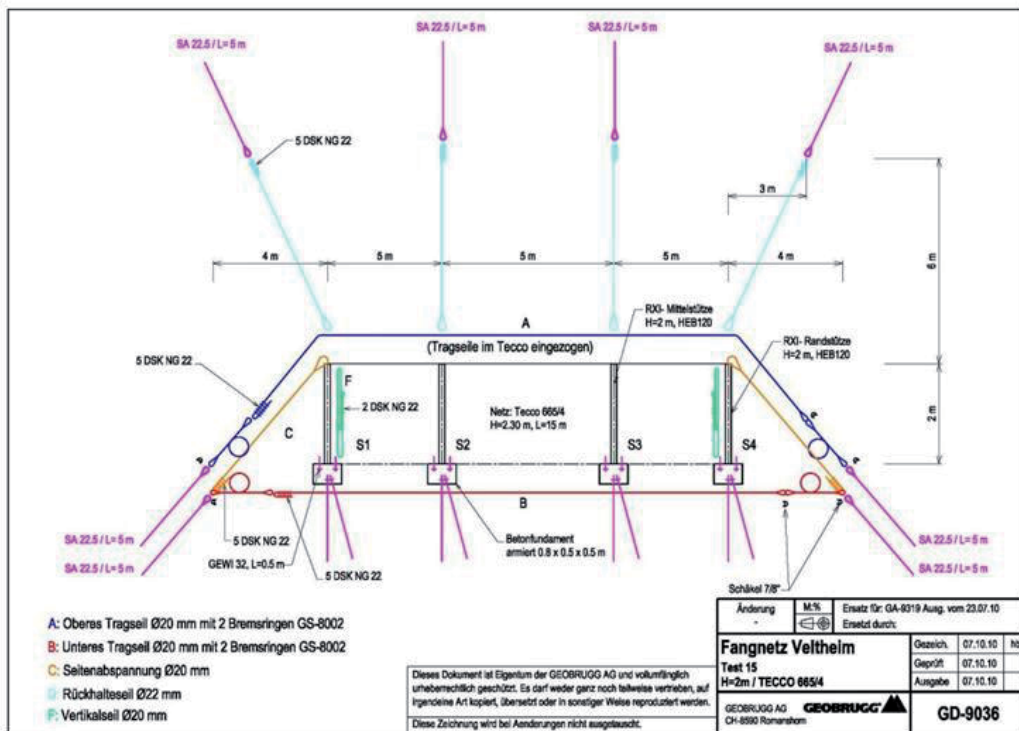


Figura 14 – Modello SL-100 a rete TECCO® e singoli controventi di monte, altezza disponibile 2 m.



Figura 15 – Sinistra: vista generale della frana e della barriera impattata presso Scaletta Zanclea (ME). Destra: vista ravvicinata della barriera impattata.



Figura 16 – La barriera SL protegge la linea ferroviaria presso Vernazza (SP).

laddove era stato considerato possibile l'innesco di frane superficiali.

A seguito di intense piogge, il 2 marzo del 2011 una frana superficiale ha colpito una delle barriere SL installate, ponendo in chiara evidenza la loro fondamentale efficienza (figura 15).

Il comportamento della barriera, ancora in fase di studio al momento della redazione della presente nota, è da una prima valutazione perfettamente in linea alle attese, ma soprattutto congruente con le barriere testate artificialmente a Veltheim. La barriera SL impattata, di altezza pari a 3,5 m, si estende per 5 campate da 5,0 m ciascuna, per uno sviluppo totale di 25 m. Tre di queste campate sono state investite dalla colata superficiale, innescatasi circa 35 m più a monte. La barriera ha contenuto la parte di corpo di frana che l'ha investita direttamente, ostacolando anche l'ulteriore movimento verso valle del restante materiale scosceso, rimasto lungo

la superficie di scivolamento. Il tipo di materiale franato è di granulometria prevalente compresa fra le ghiaie ed il limo, con inglobata una moderata percentuale di elementi ciottolosi.

Un'ulteriore applicazione recente delle barriere SL è ubicata in un'area di pregio paesaggistico, famosa in tutto il mondo, come le Cinque Terre, presso La Spezia, in Comune di Vernazza. Qui, per la protezione della linea ferroviaria sottostante, una barriera SL-150 a rete SPIDER® di 25 m di estensione e 5 campate di 5 m ciascuna, per una altezza di 3,5 m è stata preferita per la tipologia di fenomeno atteso, non riconducibile a frane di crollo per le quali sarebbe stata sufficiente una classica barriera paramassi.

7. CONCLUSIONI

Nell'ambito di una ricerca sviluppata da Geobrugg AG sul comportamento di barriere flessibili contro le frane superficiali sono state

eseguiti test in vera grandezza e modellazione numerica.

Per quanto riguarda la modellazione numerica, si osserva che si è giunti ad un livello di calibrazione abbastanza accurato dei test in vera grandezza. I modelli 1 e 2 che sono stati utilizzati in fasi precedenti, sono considerati superati dal modello 3. Mediante il modello 3, si costata che le forze massime che sollecitano le funi alla fine dei test, hanno una variazione mai superiore dell'10% rispetto ai valori dei test.

In più, la larghezza effettiva e altezza media del deposito di materiale trattenuto dalla barriera devono essere correttamente valutati e calibrati per una migliore modellazione della pressione idrostatica, il che può portare ad un ulteriore aumento della accuratezza dei modelli numerici.

In fase successiva sarà calibrato, in modo più accurato, lo schema di carico statico. Saranno poi implementate modelli numerici a rete SPIDER®, che saranno a loro volta, calibrati per valutare l'andamento della pressione massima sopportabile dal sistema in funzione della distanza tra i montanti o della campata (figura 17).

Le sperimentazioni e le modellazioni hanno comunque già permesso di individuare sistemi atti a contrastare, fenomeni di frane superficiali in versanti aperti che stanno trovando favorevole applicazione nel settore della prevenzione del rischio idrogeologico e, ciò che più conta, dimostrando notevole successo ed apprezzamento da parte degli Enti Pubblici.

BIBLIOGRAFIA

- ARMANINI, A., FRACCAROLLO, L., LARCHER, M., & ZORZIN, E. 2002 (Osservazioni sulla reologia di colate di detriti granulari in regime collisionale su fondo fisso. Atti del convegno "Giornata di Studio dedicata a Lucio Tagliatela". Napoli, 24 maggio 2002).
- GRASSL, H. 2002 (Experimentelle und numerische Modellierung des dynamischen Trag- und Verformungsverhaltens von hochflexiblen Schutzsystemen gegen Steinschlag Diss. Federal Institute of Technology», ETH Zurich).
- MAUGERI, M., & MOTTA, E. 2011 (Effects of Heavy Rainfalls on Slope Behavior: The October 1, 2009 Disaster of Messina (Italy). Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering, Volume 15, 169-190, DOI: 10.1007/978-94-007-0470-1_10).
- VOLKWEIN, A. 2004 (Numerische Simulation von exiblen Steinschlagschutzsystemen PhD thesis, Universität di Karlsruhe).
- VOLKWEIN, A. 2005 (Numerical simulation of flexible rockfall protection systems» Proc. Computing in civil engineering, ISSW).
- WENDELER C. ET AL. 2010, (Structural design of flexible steel barriers for torrent debris flow mitigation).
- Wendeler C., Bugnion L. 2010, (Shallow landslide full-scale experiments in combination with testing of flexible barrier).

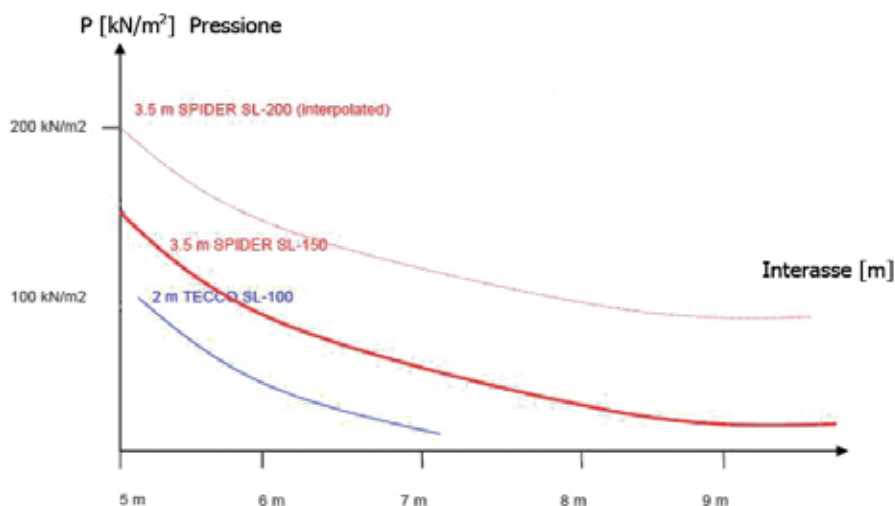


Figura 17 – Andamento della pressione dinamica massima con l'interasse tra i montanti.

Mitigazione e prevenzione del rischio idrogeologico

Il caso emblematico del comune di Forino (AV), compreso nel bacino del Fiume Sarno

CATELLO MASULLO
Ingegnere, Docente presso il corso di Gestione dei Sistemi Idrici, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Roma 3

ANDREA MASULLO
Ingegnere, Hydroarch, Roma

SOMMARIO

La presente memoria descrive brevemente un esempio di pianificazione idraulica di un'area a rischio idrogeologico come quella di FORINO (AV) che si trova nel bacino del fiume SARNO ed ha caratteristiche orografiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del tutto simili a quelle degli abitati di SARNO e CERVINARA colpiti da eventi catastrofici nel '98 e nel '99, con ingenti perdite di vite umane. In occasione degli eventi meteorici disastrosi per i comuni contermini non si sono invece registrati lutti a FORINO, grazie alla efficacia delle misure e degli interventi preventivi adottati. Si esamina inoltre la genesi dei fenomeni franosi e si riferisce di analisi mineralogiche che hanno evidenziato presenza nelle piroclastiti della coltre detritica di materiale criptocristallino amorfo che ha grande capacità di assorbimento d'acqua e rigonfiamento e che, insieme alle modeste frazioni argillose, potrebbe essere la causa di innesco. Si dà infine cenno ad interventi di ingegneria naturalistica, non strutturali, utili alla prevenzione del rischio idrogeologico.

INTRODUZIONE

Il nostro paese è caratterizzato, come è noto, da un elevato rischio idrogeologico. Lo dimostrano le 5.400 alluvioni e le 11.000 frane registrate negli ultimi 80 anni, nonché i 30.000 miliardi di lire spesi negli ultimi 20 anni per ripararne i danni, le cento vittime che si contano nei soli ultimi 3 anni (*F. Napolitano, 2000*).

Tra le cause del generale dissesto idrogeologico è da annoverare altresì l'abbandono delle campagne e di un certo tipo di coltivazione.

In passato si privilegiavano le coltivazioni cosiddette "a girapoggio" lungo le curve di livello. Così come raccomandava il Barone COSIMO RIDOLFI, idrogeologo "ante litteram", al suo fattore Agostino TESTAFERRATA con un mirabile trattato sulla bonifica dei versanti calanchivi delle colline argillose toscane (*C. Ridolfi, 1934*). Con l'avvento della meccanizzazione agricola si è sempre di più diffusa la coltivazione cosiddetta "a rittochino", cioè lungo le linee di massima pendenza, in quan-

to i trattori, lavorando lungo le curve di livello, tendono a ribaltarsi, mentre, se operano sulla massima pendenza, arano bene. Così facendo, si realizzano però dei solchi che facilitano evidentemente le colate di fango, ecc.

Le aree maggiormente soggette a fenomeni di "FLASH FLOODS", con le caratteristiche proprie dei cicloni tropicali, sono quelle delle regioni LIGURIA e CAMPANIA, per le quali massimo risulta il fetch computato a partire dalle aree nei dintorni dello stretto di Gibilterra. I luttuosi eventi di SARNO del '98 e di CERVINARA del '99 testimoniano gli accadimenti più gravi.

La presente memoria descrive brevemente un esempio di pianificazione idraulica di un'area a rischio come quella di FORINO (AV) che si trova nel bacino del fiume SARNO ed ha caratteristiche orografiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del tutto simili a quelle degli abitati di SARNO e CERVINARA colpiti da eventi catastrofici nel 1998 e nel 1999.

In occasione degli eventi meteorici disastrosi per i comuni contermini non si sono invece registrati lutti a FORINO, grazie alla efficacia delle misure e degli interventi preventivi adottati.

IL TERRITORIO DI STUDIO

Il territorio del Comune di FORINO ha una grande singolarità idrogeologica: è costituito da una conca endoreica con unico recapito delle acque ad un inghiottitoio geologico. L'inghiottitoio geologico costituisce il cuore pulsante dell'intero territorio di Forino, se smettesse di funzionare occorrerebbe un rapido intervento di evacuazione dell'intero paese. Le pendici del bacino sono molto scoscese e i terreni molto erodibili. Pertanto ad ogni precipitazione meteorica di intensità appena apprezzabile tutti gli impluvi, gran parte dei quali utilizzati come "alvei-strada" per le attività antropiche, si trasformano in veri e propri fiumi di fango, sabbia, residui vegetali, rifiuti, ecc. con conseguenti gravi pericoli alla incolumità umana e insostenibili oneri manutentivi delle strade per la Amministrazione Comunale e per quella Provinciale di Avellino che deve periodicamente rimuovere centinaia di camion di detriti dalla S.P. per BRACIGLIANO che attraversa FORINO.

LA PIANIFICAZIONE

Al fine di ovviare a tali gravi inconvenienti e pericoli incombenti la Amministrazione Comunale di Forino si è dotata di un Progetto di Pianificazione Generale di sistemazione idrogeologica ed idraulico-scolante del territorio comunale (*C. Masullo, 1999*).

La filosofia fondamentale del Progetto Generale in questione consiste essenzialmente nel ridurre drasticamente il trasporto solido veicolato dai corsi d'acqua e nel regimentare gli afflussi di acqua meteorica all'inghiottitoio. Con il raggiungimento di tali due scopi principali si renderà possibile il corretto funzionamento dell'impianto di sollevamento dei reflui (già precedentemente realizzato nell'ambito del P.S. 3 ex-Agensud per il disinquinamento del golfo di Napoli) che sottrarrà definitivamente la quasi totalità del carico inquinante dell'inghiottitoio.

Tale carico organico è responsabile non solo dell'inquinamento della falda (che dà origine alle sorgenti LAURO e LABSO in territorio di MONTORIO INFERIORE) ma anche di un progressivo periodico intasamento dell'inghiottitoio che genera crescenti e comprensibili preoccupazioni.

LA TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI

Le opere comprese nel progetto generale (Figura 1) possono essere essenzialmente ricondotte alle seguenti tipologie:

- briglie;
- sistemazioni antierosione degli "alvei-strada";
- vasche di laminazione, infiltrazione, dissabbiaggio;
- canali di drenaggio realizzati con gabbionate;
- collettori fognari.
- Interventi di ingegneria naturalistica

Tali opere tutte sono di completamento e integrazione di quelle precedentemente realizzate. Lo scopo generale è quello del miglioramento dell'assetto idrogeologico con riduzione dell'erosione e del conseguente trasporto solido, riduzione, per laminazione e infiltrazione, delle portate di piena, della separazione delle reti fognarie per un corretto funzionamento dell'impianto di sollevamento

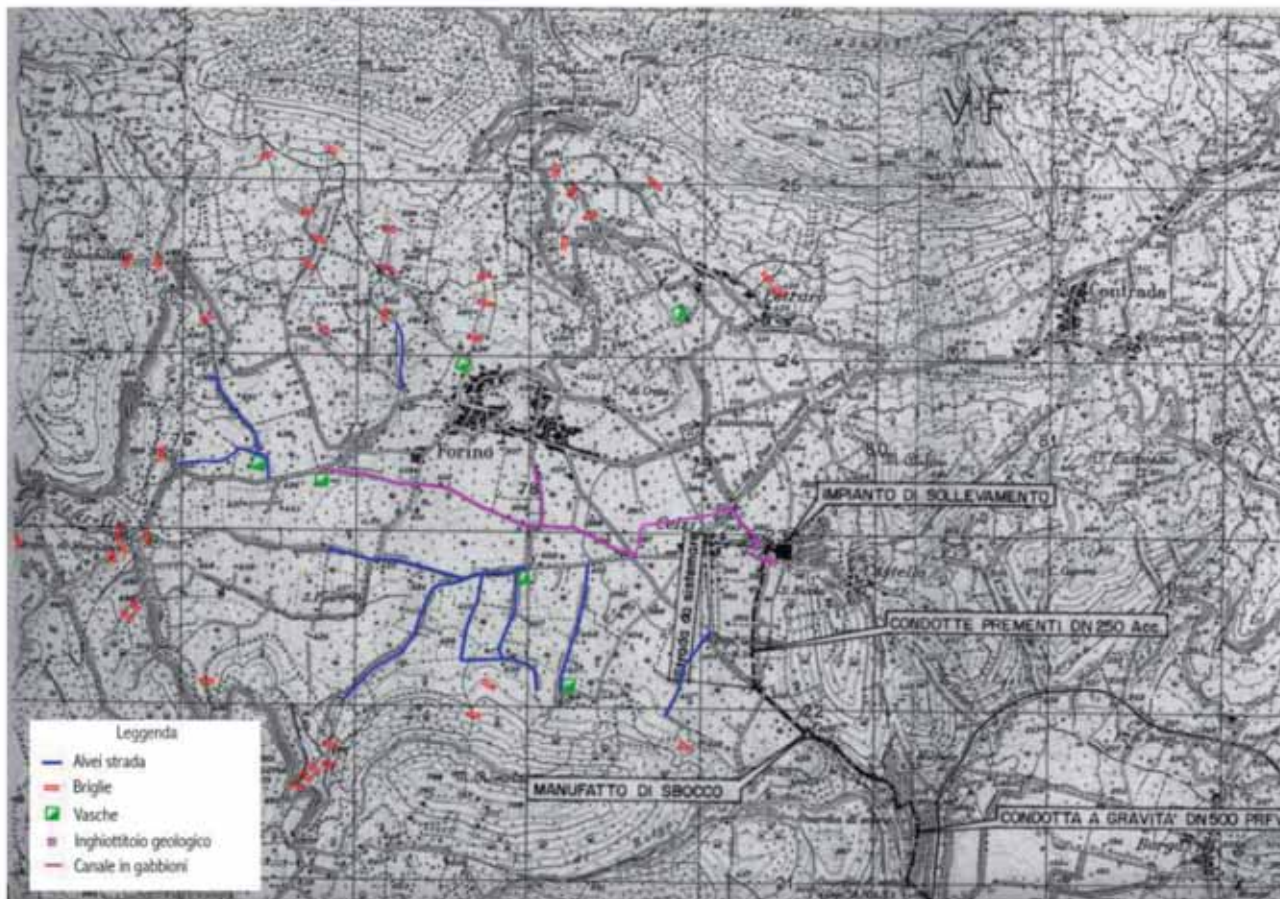


Figura 1: Progetto di Pianificazione Generale di sistemazione idrogeologica ed idraulico-scolante del territorio comunale.

dei reflui la cui operatività deve essere garantita 24 h/24 per i richiamati gravi problemi ambientali. Le briglie sono state realizzate nei tratti di monte dei vari corsi d'acqua della conca endoreica di FORINO.

Le briglie hanno la funzione di limitare la erosione e di conseguenza il trasporto solido verso valle. La riduzione dell'erosione è favorita anche dalla progressiva riduzione della pendenza dei corsi d'acqua indotta dalla presenza delle briglie.

Le opere progettate contribuiscono in misura determinante a conseguire i due principali obiettivi necessari al completamento ed al funzionamento ottimale delle opere realizzate in precedenza: eliminare (o ridurre fortemente) l'ingente trasporto solido che caratterizza tutti i numerosi alvei-strada che solcano l'abitato di Forino in direzione dell'inghiottitoio geologico; limitare fortemente il deflusso idrico superficiale delle acque pluviali che provocano le regolari inondazioni della frazione abitata del CELZI, mediante infiltrazione a monte degli alvei-strada.

L'eliminazione dei detriti è condizione essenziale e irrinunciabile al corretto funzionamento della rete fognaria e, ancora con maggiore ragione, dell'impianto di sollevamento dei reflui. Anche la limitazione delle portate è molto importante. La capacità dell'inghiottitoio geologico è infatti molto al di sotto delle

portate di picco che vi pervengono in occasione delle precipitazioni di maggiore intensità. E' proprio per questa ragione che i canali di drenaggio che vi confluiscono non sono stati dimensionati per le portate di massima piena ma per le portate massime smaltibili dall'inghiottitoio (una maggiore capacità di trasporto dei canali di drenaggio provocherebbe infatti un sensibile peggioramento delle periodiche inondazioni della frazione di CELZI).

Il disegno generale di sistemazione idrogeologica è quello di favorire la infiltrazione delle acque nelle zone di monte mediante vasche di laminazione e briglie, evitando, o limitando fortemente, così il ruscellamento superficiale e i conseguenti lamentati fenomeni di allagamento.

Le opere comprese nel progetto generale sono state in parte realizzate con stralci esecutivi funzionali. In particolare sono state eseguite una briglia in gabbioni ed alcune delle vasche di laminazione e dissabbiaggio. Alla luce delle esperienze di funzionamento conseguite, le vasche esistenti, ed in particolare quella di più antica realizzazione, quella sul Vallone S. Pietro, si sono dimostrate molto efficaci, sia nel trattenere l'ingente trasporto solido, sia nella riduzione del picco di piena per le portate in uscita dalla vasca stessa grazie al sensibile effetto di laminazione esercitato. Sono stati inoltre ipotizzati inter-

venti di ingegneria naturalistica. Le principali tecniche di ingegneria naturalistica possono essere riassunte nelle seguenti tabelle 1 e 2, distinte in rivestimento e/o consolidamento spondale e antierosione rispettivamente:

Le opere di ingegneria naturalistica hanno una componente vegetale che non è da considerarsi solo estetica/ambientale, ma anche strutturale e che dal punto di vista idraulico ha una influenza sulla scala di deflusso della sezione del canale o corso d'acqua, in relazione ovviamente alla quota parte di sezione interessata. Vegetazione che ha un proprio ciclo di sviluppo e che potrà influire sugli aspetti sopra menzionati sicuramente in maniera sempre crescente nel tempo. Esiste pertanto una sostanziale differenza tra l'opera appena realizzata e la stessa dopo alcuni cicli vegetativi.

Ad opere appena realizzate non si potrà fare affidamento al contributo stabilizzante delle piante, potendo considerare resistente la sola tecnica scelta caratterizzata dai propri limiti in quanto tale: questa è quindi la situazione più gravosa dal punto di vista della stabilità della protezione.

Dal punto di vista delle condizioni di deflusso è invece la situazione a vegetazione sviluppata (per esempio dopo tre cicli vegetativi) quella più "impattante" e che deve essere presa in considerazione. Una progettazione

Tabella 1. A – Interventi di rivestimento o consolidamento spondali.

1.	SEMINE, IDROSEMINE, SEMINE A SPESSORE
2.	BIOSTUOIE, BIOFELTRI
3.	GEOSTUOIE TRIDIMENSIONALI SINTETICHE
4.	GEOSTUOIE TRIDIMENSIONALI SINTETICHE BITUMATE
5.	GEOCOMPOSITO IN RETE METALLICA E GEOSTUOIA TRIDIMENSIONALE
6.	MESSA A DIMORA DI TALEE LEGNOSE
7.	PIANTAGIONE DI ARBUSTI
8.	TRAPIANTO DI CESPI E RIZOMI
9.	COPERTURA DIFFUSA CON RAMAGLIA VIVA
10.	VIMINATA VIVA SPONDALE
11.	FASCINATA VIVA SPONDALE
12.	GRADINATA VIVA
13.	GRATICCIATA DI RAMAGLIA
14.	RIBALTA VIVA (FASCINATE + GRADINATE) SPONDALE
15.	GRATA VIVA SPONDALE
16.	PALIFICATE VIVE SPONDALI
17.	PENNELLO VIVO
18.	TRAVERSA VIVA
19.	RULLI SPONDALI IN RETI SINTETICHE, METALLICHE, IN COCCO
20.	GABBIONATA SPONDALE RINVERDITA
21.	MATERASSO RINVERDITO
22.	TERRE RINFORZATE VERDI IN GEOTESSILI RETI METALLICHE ecc
23.	MURO A SECCO RINVERDITO
24.	MURO CELLULARE RINVERDITO SPONDALE
25.	RAMPA A BLOCCHI
26.	BLOCCHI INCATENATI

Tabella 2. B – Interventi antiersivi di stabilizzazione o consolidamento di versanti.

1.	SEMINE, SEMINE POTENZIATE
2.	MESSA A DIMOREA DI TALEE
3.	MESSA A DIMORA DI ARBUSTI
4.	STUOIE SU VERSANTE
5.	GEOCELLE A NIDO D'APE
6.	RIVESTIMENTI IN RETE METALLICA E STUOIE
7.	VIMINATA
8.	FASCINATA
9.	GRADINATA
10.	CORDONATA
11.	PALIZZATA
12.	CUNEO FILTRANTE
13.	GRATA VIVA SU SCARPATA
14.	PALIFICATA VIVA DI VERSANTE
15.	GABBIONATA DI VERSANTE
16.	MATERASSO VERDE DI VERSANTE
17.	MURO CELLULARE RINVERDITO DI VERSANTE

ivi compresa la conca endoreica di FORINO, sono costituite essenzialmente dal cosiddetto "Tufo Campano" che ricopre i calcari cretaci nell'area di Sarno. Il Tufo Campano è presente nell'area con una coltre poco potente (spessore intorno a 1-3 m) ed è costituito da materiale vulcanoclastico, ceneri e lapilli a diverso grado di pedogenizzazione. Sulla genesi dei processi di instabilità delle coltri di copertura innescati dalle precipitazioni intense il dibattito scientifico è tuttora molto aperto. Alcuni studiosi (*M. C. Rullie* e al., 1998) hanno proposto modelli costruiti sulla ipotesi che il processo di innesco delle frane superficiali si determinino dalla combinazione di processi idrologici, dalla topografia e dalla vegetazione del sito oggetto di studio. Tale modellazione richiede però un elevato grado di dettaglio e la conoscenza dei valori di un elevatissimo numero di parametri, quali:

- Angolo di inclinazione dell'elemento finito β [gradi]
- Spessore dello strato di terreno h [m]
- peso di volume del terreno saturo γ_s [N/m^3]
- Peso di volume del terreno alla capacità di campo γ_T [N/m^3]
- Porosità efficace η [-]
- Angolo di attrito interno ϕ' [gradi]
- Angolo di attrito interno dell'accoppiamento terreno-substrato ϕ_{BR} [gradi]
- Coesione c' [kPa]
- Coesione apparente c_A [kPa]
- Carico idraulico di risalita capillare ψ [m]
- Conduttività idraulica satura K [m/s]
- Contenuto iniziale di acqua [-] θ_I
- Carico distribuito indotto dal peso della vegetazione w [kPa]
- Coesione c_V indotta dalle radici delle piante [kPa]

Altri autori (*C. Bogliotti*, 1998), hanno sottolineato come, con specifico riferimento all'evento franoso di SARNO del 10/5/98:

- le piogge cadute non sono state di entità straordinaria ma hanno avuto azione prolungata;
- il volume relativo al materiale di accumulo appare inaspettatamente molto maggiore rispetto alla massa mancante sui versanti;
- la velocità di discesa della massa fangosa risulterebbe molto elevata;
- i volumi d'acqua defluiti durante l'evento sembrerebbero superiori rispetto ai dati di pioggia registrati dal servizio idrografico.

E' stata pertanto delineata un'ipotesi che vedrebbe il poderoso movimento di massa del 10 Maggio 1998 strettamente correlato alle caratteristiche mineralogiche del materiale coinvolto nel fenomeno gravitativo. E' stato infatti ipotizzato che causa e magnitudo del movimento di massa siano legati alla

bene impostata dovrà quindi prevedere una doppia verifica: al tempo iniziale per la stabilità della protezione e dopo alcuni (tre) cicli vegetativi per la capacità di deflusso, tenendo conto, se del caso, anche dell'incremento di resistenza della protezione scelta, che può essere considerato come un ulteriore margine di sicurezza dell'intervento stesso. L'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica negli interventi di sistemazione idraulica ed idrogeologica riscontra un crescente successo, sia in ragione della crescente sensibilità circa la costante ricerca di misure di contenimento

degli impatti ambientali di tali opere, sia in considerazione degli incoraggianti risultati tecnici. Ne consegue la necessità di coniugare il tradizionale approccio tecnologico con le metodologie scientifiche di dimensionamento richieste dal grado di definizione imposto dalle vigenti normative in materia di progettazione.

LA GENESI DELL'INNESCO DEI FENOMENI DI INSTABILITÀ DEI PENDII

Le formazioni che hanno dato luogo alle colate detritiche in tutta l'area del Sarnese,

particolare composizione mineralogica della coltre tufaceo - piroclastica in concomitanza all'evento meteorologico prolungato. Più precisamente, si è ipotizzato che l'innesco di un fenomeno franoso di tale rilevanza (dimensioni e volumi) e caratteristiche (colata di fango super-veloce) debba essere legato alla presenza di fasi mineralogiche ad elevata capacità di assorbimento d'acqua ed in grado di aumentare il proprio volume a dismisura. Per dimostrare tale ipotesi l'autore citato, in collaborazione con il CUGRI di Salerno e l'Università di LOVANO in Belgio, ha condotto una campagna di analisi.

Tutti i campioni analizzati contengono significative percentuali di materiale organico e di materiale criptocristallino amorfo e basse percentuali di minerali argillosi (principalmente illite e secondariamente smectite). L'analisi granulometrica ha confermato la limitata presenza della frazione argillosa e la predominanza di una frazione intorno a 10 μ m entro la quale il materiale criptocristallino si formerebbe.

Alcuni campioni hanno manifestato una capacità di assorbimento d'acqua superiore al 18%. Si è dedotto che la devetrificazione delle ceneri vulcaniche in silicato criptocristallino (SiO₂·nH₂O) accoppiata ad una granulometria fine e medio-fine aumenti a dismisura la superficie di assorbimento d'acqua.

Le cause dei movimenti di massa del Sarno sembrerebbero quindi essere correlabili ad una condizione prolungata di imbibimento pluviometrico nelle zone dove si trovano suoli con il più alto indice di devetrificazione, ad elevata capacità di assorbimento d'acqua e valori di carico tensile (tensile strength) critici.

Tali materiali, in condizioni di imbibizione prolungata sembrerebbero produrre un effetto di sollevamento per rigonfiamento e di lubrificazione degli strati superficiali piroclastici e di conseguenza il loro scivolamento. L'ipotesi scientifica apparrebbe meritevole di ulteriore approfondimento.

CONCLUSIONI

Il Comune di Forino ha ripristinato un antico uso, che risale alle bonifiche Borboniche, quello delle cosiddette vasche di dissabbiaggio e di laminazione delle piene. Alle pendici del Vesuvio i cosiddetti alvei, da sempre, sono stati utilizzati come alvei - strada, perché, con la variabilità delle precipitazioni, si ha che, nella stragrande maggioranza dei periodi dell'anno, questi sono completamente asciutti, e sono carrabili. Solo in occasione delle maggiori precipitazioni meteoriche si ritrasformano in corsi d'acqua e possono produrre danni incredibili.

All'epoca Borbonica si pensò di realizzare grandi vasche nelle quali le acque di piena

venivano laminate, si infiltravano e soprattutto depositavano l'ingente trasporto solido. Queste vasche venivano utilizzate come cave di sabbia. Il materiale depositato, essendo già lavato, era particolarmente appetibile per gli utilizzi nelle costruzioni. Tale uso ne comportava pertanto la manutenzione e lo svuotamento costante. Purtroppo, con il tempo, queste vasche sono state abbandonate, e in alcuni casi, sono state requisite in maniera del tutto impropria. La presente memoria ha descritto alcuni dei lavori realizzati a Forino. Essenzialmente si tratta di vasche di laminazione di modeste dimensioni, che hanno un ingresso ed un'uscita ovviamente protetti dalle erosioni.

Le opere di immissione delle acque di pioggia e di sfioro delle stesse sono realizzate in gabbioni. I famosi eventi del maggio 98, nonché quelli successivi del 99, hanno trovato tutte queste vasche vuote e le colate detritiche formatesi le hanno completamente riempite. Ne è risultato che i danni alla popolazione sono stati piuttosto contenuti e, soprattutto, è stato possibile evitare eventi luttuosi. C'è stata una notevole laminazione delle piene, una grossa infiltrazione, quindi non scorrimento sul territorio e sulle strade ma infiltrazione verso falda profonda e soprattutto gran parte del materiale è stato trattenuto. Sono state previste delle rampe di discesa nelle vasche appositamente realizzate che consentono la eliminazione di questi sedimenti.

Il comune di Forino ha effettuato alcune convenzioni con una serie di cavaatori, o di utilizzatori di questi materiali, che sono stati prelevati a scopo di costruzione, e questo è avvenuto senza costo per l'Amministrazione. Si sono inoltre rivelati molto efficaci gli interventi di ingegneria naturalistica. In definitiva si può affermare che è di fondamentale importanza che gli Enti Territoriali interessati si dotino tempestivamente di strumenti di pianificazione generale degli interventi necessari a prevenire il dissesto idrogeologico.

Tali progetti generali, una volta acquisiti tutti i pareri necessari, diventano uno strumento operativo formidabile che consente la immediata realizzazione degli interventi, anche per stralci funzionali secondo una scala di priorità, non appena i relativi finanziamenti siano disponibili.

BIBLIOGRAFIA

- BOGLIOTTI C., Hydrodata-Ic, Diestsesteenweg 19, 3010 Leuven, Be (agosto, 1998), *Evento franoso del 10/5/1998 nell'area di Sarno: analisi mineralogica semi-quantitativa*.
- MASULLO C., (2 marzo 1999), *La pianificazione degli interventi di sistemazioni idrogeologica ed idraulica nelle aree a rischio naturale: il caso del comune di Forino (AV), Compreso nel Bacino del Fiume Sarno*, Convegno: "La pianificazione urbanistica nelle aree a rischio. Oltre la legge

267/1998: istituzioni a confronto", Aula delle lauree, Università di Salerno.

MASULLO C., *La pianificazione idraulica nelle aree a rischio: il caso del comune di Forino (AV), nel Bacino del Sarno*. Idra 2000 - XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche

MASULLO C. & ALTRI, (16-19 Settembre 2002), *Criteri di dimensionamento idraulico di opere di ingegneria naturalistica per interventi di sistemazione idrogeologica*. XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza.

NAPOLITANO F., (25 Maggio 2000), *Rischio idrogeologico: alluvioni. convegno protezione civile: servizio sociale primario e materia multidisciplinare*. Dipartimento di Idraulica, Trasporti, Strade Facoltà di Ingegneria Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche, Facoltà di Ingegneria, Roma, Sala Chiostro.

RIDOLFI C., (1934), *Memorie sulla bonifica collinare*, Pubblicazione promossa dalla Reale Accademia dei Georgofili. Roma, Ramo Editoriale degli Agricoltori.

RULLI M.C., MENDUNI G., BRUGIONI M., RUSSO R., (9-12 Settembre 1998), *Considerazioni sulla stabilità dei pendii al fine di una modellazione distribuita dei movimenti gravitativi superficiali innescati da eventi meteorici intensi*, XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania.

La protezione superficiale dei suoli come prevenzione dall'erosione e contributo alla manutenzione di frane stabilizzate

Prati Armati Srl

SOMMARIO

I fenomeni erosivi sul territorio italiano sono molto diffusi. Nel corso degli anni sono state sviluppate diverse tecniche di protezione del suolo e di rinaturalizzazione. Fra queste emerge un'innovativa tecnologia naturale che impiega esclusivamente piante erbacee perenni a radicazione profonda e consente di operare anche in aree in cui le condizioni pedoclimatiche erano fino a pochi anni fa ritenute proibitive per lo sviluppo della vegetazione. Tale tecnologia appare promettente anche nei riguardi dei fenomeni di instabilità superficiale dei versanti: l'inerbimento con radici profonde può indurre effetti meccanici ed idraulici sulle condizioni di equilibrio del versante tali da incrementare tipicamente la resistenza a taglio del terreno. Gli effetti meccanici dell'impianto di radici sono attribuibili ai processi di interazione radice/terreno; gli effetti di natura idraulica derivano dal meccanismo secondo cui l'inerbimento può ridurre significativamente il contenuto d'acqua ed il grado di saturazione del terreno. La ricerca si pone come obiettivo finale la valutazione quantitativa di tali effetti, mediante la loro modellazione ed implementazione in un algoritmo di calcolo.

Parole chiave: fenomeni erosivi, impianto di radici, effetti meccanici ed idraulici, protezione superficiale di versanti

1. I FENOMENI EROSIVI

La dinamica dei fenomeni erosivi deriva da diverse concause. Sul territorio italiano, principalmente in ragione del clima che caratterizza le nostre latitudini, il principale agente erosivo è rappresentato dalle precipitazioni meteoriche che erodono il terreno con azioni diverse (erosione idrica) quali:

- energia cinetica delle gocce (*drop erosion*);
- trasporto superficiale di particelle del terreno (*interill erosion*);
- formazione di rivoli (*rill erosion*);
- formazione di solchi e fossi profondi (*gully erosion*).

L'intensità dell'azione erosiva dipende poi da vari fattori, quali:

- intensità e durata delle precipitazioni;

- lunghezza e inclinazione del pendio;
- permeabilità del terreno e grado di saturazione;
- vegetazione;
- erodibilità intrinseca del terreno, prevalentemente correlata alle caratteristiche granulometriche del terreno stesso.

Il ruolo della vegetazione nella protezione dei pendii dall'erosione è stato a lungo studiato ed è documentato da ricerche sperimentali. La protezione dall'erosione dipende dal tipo di vegetazione, arborea e/o erbacea, e in generale consiste nel:

- assorbimento di una parte dell'energia cinetica delle gocce di acqua;
- rallentamento dei fenomeni di ruscellamento;
- ritardo nel raggiungimento delle condizioni di completa saturazione del terreno;
- rinforzo del terreno con apparato radicale;
- contenimento, filtro e contrasto dei fenomeni di trascinarsi dei granuli.

Esistono vari approcci per la stima quantitativa dell'erosione (perdita di suolo), quali quelli basati su modelli teorici, modelli fisici in scala ridotta e modelli empirici. Tra questi ultimi si evidenzia l'Equazione Universale per il calcolo della Perdita di Suolo - USLE - *Universal Soil Loss Equation* (Wishmeier e Smith, 1965; 1978), equazione empirica adottata per la stima dell'erosione idrica da *United States Department of Agriculture*. Tale equazione è generalmente diffusa nella seguente forma:

$$A = R \times K \times LS \times P \times C \quad (1)$$

ove:

- A: perdita specifica di suolo [t/ha anno], associata a fenomeni di *rill e interill erosion*;
- R: *Rainfall-Runoff Erosivity Factor*: fattore climatico, relativo all'intensità e alla durata delle precipitazioni [MJ mm/ha h anno];
- K: *Soil Erodibility Factor*: fattore pedologico che esprime l'erodibilità del suolo [t h/MJ mm];
- LS: fattore geometrico funzione della pendenza ed estensione del versante;
- P: *Support Practices Factor*: fattore riduttivo dipendente da eventuali interventi di protezione, controllo e conservazione;

C: *Cover-Management Factor*: fattore riduttivo funzione della vegetazione.

Tra gli interventi finalizzati a ridurre gli effetti prodotti dall'erosione, rivestono particolare interesse quelli che agiscono direttamente sulla vegetazione, mediante impianto di radici profonde, contribuendo in tal modo a ridurre i fattori P e C che compaiono nell'equazione USLE (eq.ne 1). Le tecniche anti-erosive attualmente più diffuse praticabili risalgono agli anni 1950-60. Tutte prevedono l'impiego di manufatti sintetici quali ad esempio geocelle, geostuoie, georeti, oppure biostuoie, fascinate, viminate, etc. che, però, in condizioni pedoclimatiche difficili, possono non risolvere completamente il problema dell'erosione. Inoltre, alberi, arbusti e prati tradizionali sono stati da sempre impiegati per tentare di ostacolare fenomeni di erosione ed eventualmente piccoli smottamenti di terreno. Studi più recenti, eseguiti anche avvalendosi delle competenze di botanici, agronomi, naturalisti, geologi, hanno evidenziato la capacità di alcune specie erbacee a radicazione profonda di ostacolare molto efficacemente i fenomeni erosivi, anche in presenza di terreni aridi e sterili nei quali le specie vegetali usualmente impiegate non riescono a vegetare. Inoltre, la realizzazione di un impianto anti-erosivo costituito da sole essenze vegetali, mediante semina di piante erbacee perenni a radicazione profonda direttamente sul terreno tal quale, può essere di semplice e rapida realizzazione e non richiede alcuna manutenzione.

Il campo di applicazione di queste tecnologie, quale quella sviluppata in Italia da Prati Armati srl, è piuttosto vasto: rilevati e scarpate stradali e ferroviarie, arginature, cave, miniere, discariche, aree a mare, protezione spondale di fiumi, torrenti, canali artificiali.

Nei confronti dei fenomeni di erosione idrica su elencati, l'impianto di piante erbacee a radicazione profonda appare promettente per i seguenti motivi:

- la vegetazione dissipa gran parte dell'energia cinetica delle gocce di pioggia, così attenuando l'azione erosiva;
- in caso di precipitazioni intense, una frazione rilevante di acqua meteorica ruotola al di sopra della porzione epigea

delle piante, anche quando la vegetazione è disseccata;

- la vegetazione riduce la velocità di ruscellamento dell'acqua sul terreno.

2. EFFETTI DELL'IMPIANTO DI RADICI NEL TERRENO

Come noto nella letteratura specialistica (Gray e Sotir, 1996), l'impianto di radici nel terreno favorisce generalmente un incremento della resistenza a taglio entro lo spessore radicato; in realtà, il fenomeno dipende da due processi distinti: in primo luogo, il rinforzo meccanico offerto dalle radici; in secondo luogo, la capacità dell'intero impianto erbaceo di influire, anche significativamente, sul bilancio idrologico dell'area di interesse, per la capacità dell'apparato epigeo di intercettare parte della precipitazione e dell'intera pianta di assorbire acqua dal suolo trasferendola all'atmosfera per traspirazione.

Vale qui la pena richiamare solo alcuni concetti di base nello studio dei meccanismi di interazione radice/terreno: le radici delle piante da un lato incrementano direttamente la resistenza a taglio dei terreni per interazione meccanica, agendo come dei sottilissimi ancoraggi - di resistenza a trazione elevata - che si sviluppano nel terreno (Waldron, 1977); dall'altro lato garantiscono, indirettamente, un significativo contributo alla resistenza associabile a fenomeni di natura idro-mecanica.

2.1. EFFETTI MECCANICI DELL'IMPIANTO DI RADICI

Dal punto di vista prettamente meccanico, l'incremento diretto di resistenza a taglio offerto dalle radici può essere interpretato secondo l'approccio di Waldron (1977), proposto sulla scorta di numerosi risultati sperimentali di prove di taglio diretto su campioni di terreno radicati. Secondo tale approccio, il contributo di "rinforzo" offerto dalle radici può essere in prima approssimazione interpretato come una "pseudo-coesione" aggiuntiva che va a incrementare la resistenza a taglio del terreno.

Negli anni '70, Wu (1976) e Waldron (1977) proposero un semplice modello teorico di riferimento nell'ipotesi di considerare il terreno radicato come un materiale composito nel quale fibre lineari (radici) di elevata resistenza a trazione siano presenti in un mezzo multifase caratterizzato da resistenza a trazione minore. Lo schema meccanico di riferimento per la singola radice è rappresentato in Figura 1 nel caso di radice orientata in direzione ortogonale ad un piano di taglio, in condizioni iniziali indeformate. La singola radice, a seguito dello scorrimento lungo una potenziale superficie di rottura che delimita un'eventuale porzione di terreno instabile, subisce una deformazione elastica nel tratto di

spessore z . La configurazione deformata della fibra è descritta in funzione della distorsione angolare θ e dello spostamento traslazionale nella direzione del piano di taglio. Ipotizzando per la radice una profondità d'infissione tale da impedire lo sfilamento dal terreno stabile, lo stato di deformazione indotto sulla fibra genera l'accumulo di sforzi di trazione (compatibilmente con la massima resistenza della radice) distribuiti non uniformemente nelle sezioni interne della radice, lungo una porzione che si estende ben oltre la zona di taglio di spessore z . Nel terreno, in prossimità della radice, si assiste ad un incremento della resistenza al taglio, $\Delta\tau_{rad}$. Tale incremento è direttamente proporzionale al valore medio della resistenza a trazione delle radici T_R , al rapporto di radicazione, oltre che all'angolo di attrito del terreno, ϕ' .

Nel caso del modello semplificato rappresentato in Figura 1 imponendo le condizioni di equilibrio in termini globali in corrispondenza della superficie di scorrimento si perviene all'espressione dell'incremento di resistenza a taglio offerto dalle radici:

$$\Delta\tau_{rad} = \frac{A_R}{A} T_R (\sin\theta + \cos\theta \tan\phi')$$

ove T_R è la resistenza a trazione della singola radice, mentre il termine A_R/A esprime il rapporto di radicazione tra l'area complessiva occupata dalle radici, A_R , e l'area della sezione di terreno di riferimento (A). Il rapporto di radicazione è funzione della specie vegetale adottata, e tipicamente diminuisce con la profondità. L'estensione del modello proposto per la singola radice all'intero apparato di radicazione ha indotto diversi

Autori a proporre equazioni risolventi per la valutazione dell'incremento di resistenza al taglio $\Delta\tau_{rad}$ offerto dall'intero impianto. In particolare, sulla scorta di risultati di prove sperimentali, sono state proposte diverse formule semi-empiriche, tra le quali occorre citare l'equazione di Waldron (1977) derivante dai risultati di studi sperimentali condotti negli anni '70:

$$\Delta\tau_{rad} = 1.15 \cdot T_R \frac{A_R}{A} \quad (2)$$

e l'equazione di Bonfanti e Bischetti (2001):

$$\Delta\tau_{rad} = 1.15 \frac{A_R}{A} \left\{ \int_{D_{min}}^{D_{max}} T_R(D) \cdot F_d(D) dD \right\} \quad (3)$$

ove D_{max} e D_{min} rappresentano rispettivamente il diametro massimo ed il diametro minimo delle radici di una data specie, e la funzione di distribuzione dei diametri delle radici $F_d(D)$ può essere definita dalle note funzioni di densità di probabilità disponibili in letteratura (per esempio, normale, triangolare o lognormale).

È stata condotta un'estesa indagine sperimentale presso il Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano (Bischetti *et al.*, 2009), finalizzata alla determinazione della resistenza a trazione delle radici di 30 specie erbacee perenni attualmente impiegate da Prati Armati srl, principalmente appartenenti alle famiglie botaniche delle Graminacee e delle Leguminose. A titolo di esempio, l'andamento della resistenza a trazione $T_R(D)$ in funzione del diametro delle radici è rappresentato nella Figura 2. Le curve sperimentali sono ben de-

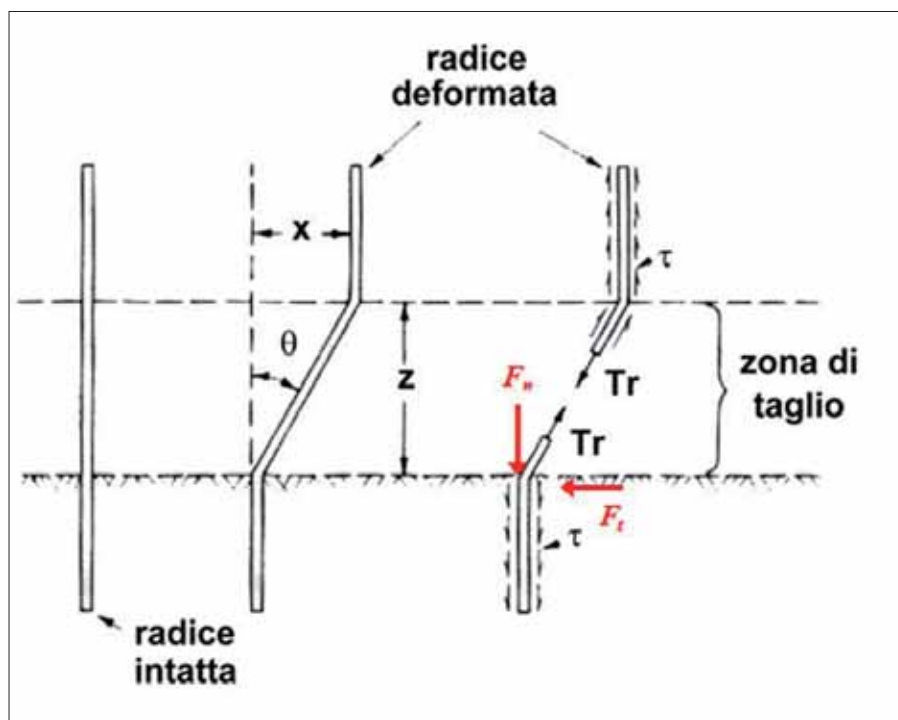


Figura 1. Modello semplificato di rinforzo del terreno per la singola radice presente in direzione perpendicolare al piano di taglio (adattato da Gray & Leiser 1989).

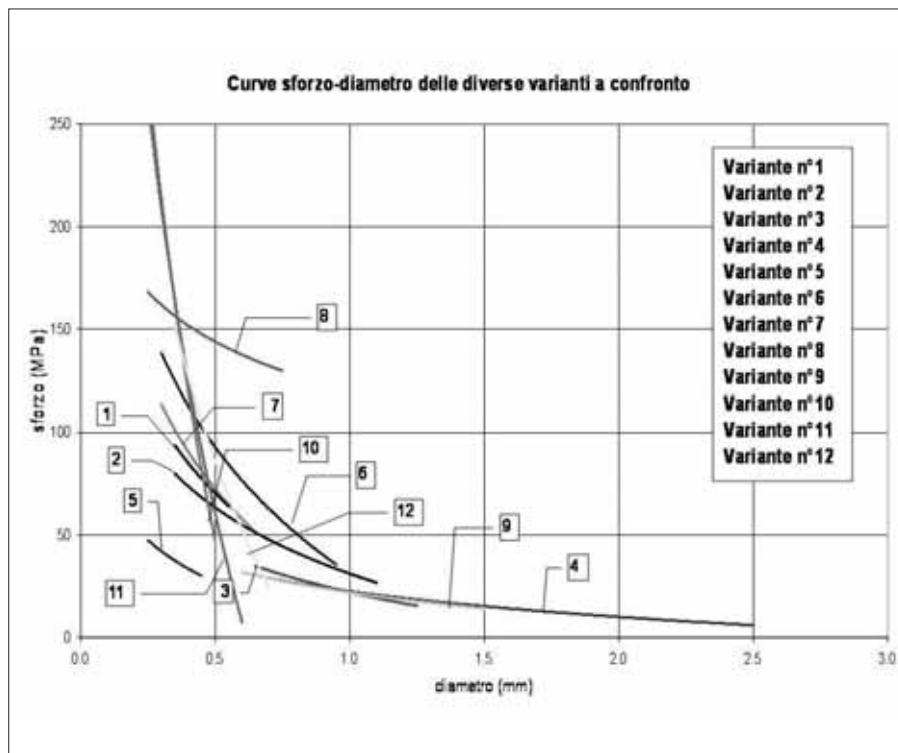


Figura 2. Risultati sperimentali di prove di trazione su alcune specie erbacee (Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano, 2009).

scritte da funzioni potenza, i cui parametri dipendono dalla specie erbacea.

Una volta determinato l'incremento di resistenza al taglio indotto dall'apparato radicale, $\Delta\tau_{rad}$, e, con riferimento allo schema di pendio indefinito, è possibile risolvere l'equazione che esprime il coefficiente di sicurezza (FS) e quantificare il contributo stabilizzante offerto dalle radici per gli strati più superficiali di terreno, vale a dire:

$$FS = \frac{\tau_f(z) + \Delta\tau_{rad}(z)}{\gamma \cdot z \cos \alpha \sin \alpha} = \frac{c' + \left(\gamma - \frac{D_w}{z} \gamma_w \right) z \cos^2 \alpha \tan \phi' + \Delta\tau_{rad}(z)}{\gamma \cdot z \cos \alpha \sin \alpha} \quad (4)$$

essendo:

- c' e ϕ' : i parametri di resistenza del terreno;
- γ e γ_w : rispettivamente il peso dell'unità di volume del terreno e il peso dell'unità di volume dell'acqua;
- α : l'angolo di inclinazione del pendio;
- z : la profondità della potenziale superficie di scorrimento dal piano campagna;
- $\tau_f(z)$: la resistenza a taglio del terreno lungo la potenziale superficie di scivolamento;
- D_w : la profondità della superficie di scorrimento rispetto alla superficie libera della falda.

Occorre infine notare che, indipendentemente dalla scelta di impiego di una delle due equazioni (eq.ni 2 e 3) finalizzate al calcolo

dell'incremento di resistenza a taglio, $\Delta\tau_{rad}$, lo stato ultimo più cautelativo da prendere in considerazione non è necessariamente lo stato limite ultimo per superamento della resistenza a trazione della singola radice, bensì potrebbe essere lo stato limite ultimo per sfilamento della radice stessa. Dal confronto dei due stati limite così considerati, è possibile individuare quello più cautelativo da prendere in esame nella soluzione dell'eq.ne (4) per il calcolo del coefficiente di sicurezza del pendio radicato.

Si vuole ora, a titolo di esempio, evidenziare l'entità dell'incremento della resistenza a taglio del terreno dovuto all'effetto meccanico dell'impianto di radici, per un caso studio di riferimento. Avvalendosi di un algoritmo di calcolo sviluppato in VISUAL BASIC – EXCEL (Rettori et al., 2010), è stata condotta una semplice analisi di stabilità per lo schema di pendio indefinito. Si è in particolare considerato un pendio di inclinazione media pari a 25°, che delimita un deposito di sabbie addensate debolmente cementate ($\phi' = 32^\circ$, $c' = 4$ kPa).

La superficie di falda è localizzata alla profondità di 1 m dal piano campagna. Nell'ipotesi che l'apparato radicale sia costituito da una miscela di piante erbacee a radicazione profonda con diametro medio della singola radice pari a 0.8 mm, e tali da raggiungere una profondità di radicazione pari a 3 m, l'incremento di resistenza a taglio, $\Delta\tau_{rad}$, è stato valutato con l'equazione (3).

La Figura 3 mostra l'andamento di tale incremento $\Delta\tau_{rad}$ (Fig. 3a) e dei coefficienti di sicurezza valutati con l'eq.ne (4) per terreno radicato e non, in funzione della profondità

z dal piano campagna (Fig. 3b). Si osservi che l'incremento di resistenza a taglio $\Delta\tau_{rad}$ diminuisce con la profondità, così come, evidentemente, il coefficiente di sicurezza per il terreno radicato. Il coefficiente di sicurezza nello spessore superficiale di terreno radicato, per l'effetto meccanico delle radici, può aumentare anche del triplo rispetto a quello calcolato in assenza di radici.

2.2 EFFETTI IDRAULICI DELL'IMPIANTO DI RADICI

Oltre all'effetto meccanico descritto nel precedente paragrafo, l'impianto erbaceo a radicazione profonda contribuisce indirettamente a incrementare la resistenza a taglio del terreno poiché, come già accennato, può indurre una riduzione significativa del contenuto d'acqua nel terreno per effetto sia dell'assorbimento da parte delle radici stesse sia evapotraspirazione, sia per l'impermeabilizzazione del versante.

Per comprendere, anche dal solo punto di vista fenomenologico, i meccanismi d'interazione meccanica ed idraulica tra le piante ed il terreno, occorre analizzare l'equazione di bilancio delle masse, ove si tiene conto dei fenomeni di evapotraspirazione delle piante, infiltrazione di acqua nel terreno, ruscellamento lungo il versante. Una rappresentazione semplificata dei fenomeni è riportata nella Figura 4.

Il bilancio idrico può essere descritto dalla seguente espressione:

$$\sum_{\Delta t} (P - P_I) = \sum_{\Delta t} E + \sum_{\Delta t} T + \sum_{\Delta t} I + \sum_{\Delta t} R \quad (5)$$

ove:

- Δt : periodo temporale di riferimento;
- P : precipitazione totale, rappresentata da una variabile stocastica e rilevata in sito da stazioni meteorologiche;
- P_I : pioggia intercettata dalla porzione epigea della vegetazione;
- E : evaporazione dallo strato superficiale di terreno;
- T : traspirazione;
- I : infiltrazione di acqua nello strato più superficiale di terreno;
- R : quantità di acqua interessata da fenomeni di ruscellamento (*run-off*) lungo il pendio.

Per quanto riguarda P_I , una delle più note espressioni reperibili nella letteratura (Von Hoyningen-Hune, 1983; Braden, 1985) per vegetazione di tipo agricolo è nella forma:

$$P_I = a \cdot LAI \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{b \cdot P}{a \cdot LAI}} \right)$$

con:

LAI : indice di area fogliare (*Leaf Area Index*);

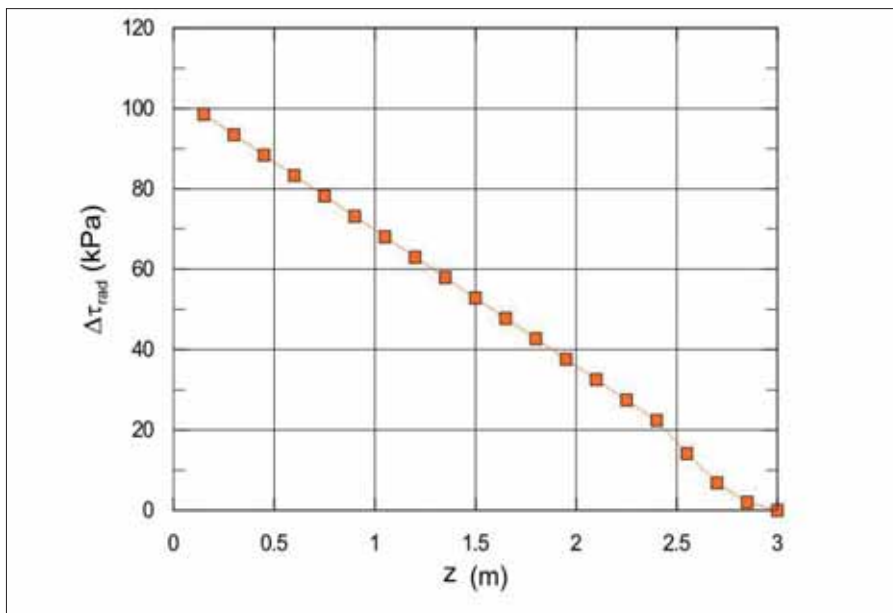


Figura 3 a) Incremento di resistenza a taglio offerto dalle radici, $\Delta\tau_{rad}$ in funzione della profondità.

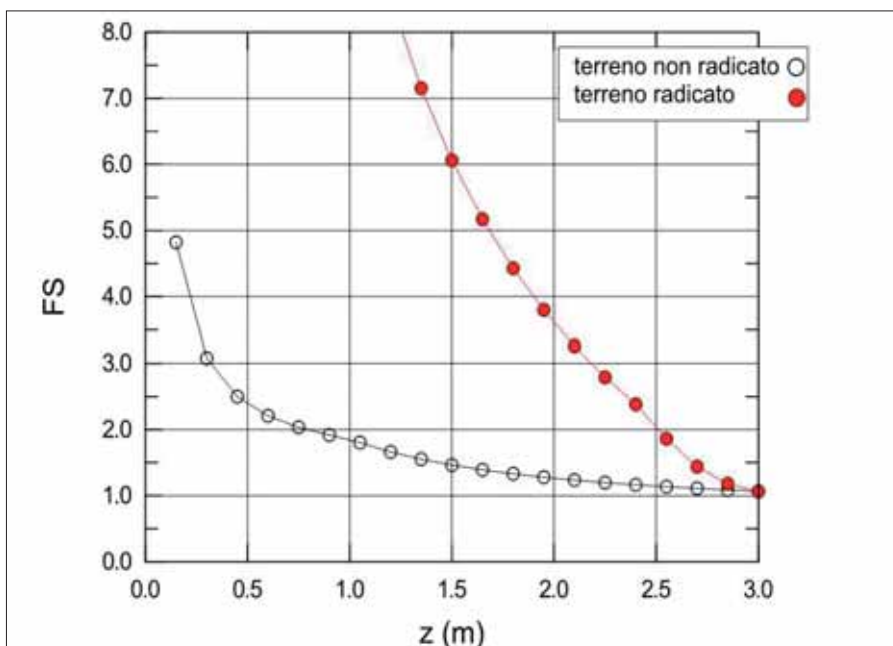


Figura 3 b) coefficiente di sicurezza: confronto tra terreno non radicato e radicato (simboli pieni).

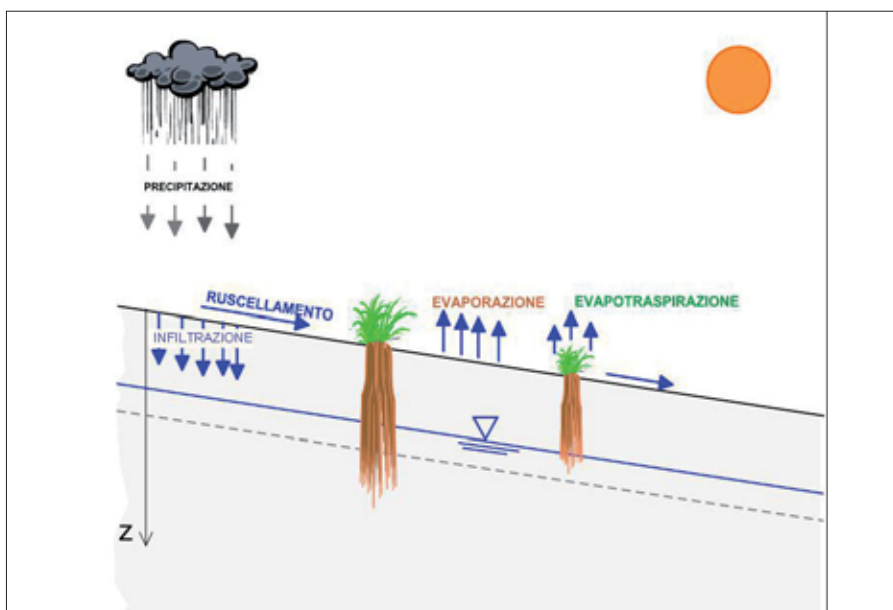


Figura 4. Rappresentazione schematica dei principali contributi che concorrono al bilancio idrico.

- a*: coefficiente empirico, funzione del tipo di coltura;
- b*: frazione di terreno ricoperta dalla vegetazione, funzione anch'essa dell'indice *LAI* e del coefficiente di estinzione della luce solare k_{gr} .

Per una valutazione quantitativa delle grandezze *E*, *T*, si può ricorrere al metodo della *crop evapotranspiration* (Feddes, 1987; Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = (K_{cb} + K_e)ET_0$$

in cui i coefficienti *K* quantificano la capacità di traspirazione della specie in esame in relazione al periodo di crescita, nonché la capacità evaporativa della superficie del suolo in funzione dell'ultimo evento di pioggia e della copertura fogliare. Il termine ET_0 rappresenta l'evapotraspirazione di riferimento media giornaliera (Hargreaves & Samani, 1985).

Nell'obiettivo di valutare quantitativamente gli effetti dell'impianto di radici - tenendo conto di tutti i fenomeni appena citati - e di pervenire alla valutazione della stabilità superficiale di un pendio inerbito, occorre valutare la distribuzione del contenuto d'acqua e del grado di saturazione con la profondità, e pertanto simulare realisticamente il fenomeno dell'infiltrazione (*I*). A tal fine, nell'ipotesi che il terreno radicato si trovi in condizione di parziale saturazione, può essere efficacemente adottata la ben nota equazione di Richards (1931):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \quad (6)$$

ove θ è il contenuto d'acqua volumetrico del terreno, $K(\theta)$ la sua conducibilità idraulica, e il coefficiente di diffusività $D(\theta)$ è definito da:

$$D(\theta) = K(\theta) \frac{\partial h}{\partial \theta}$$

con *h* = carico idraulico.

La soluzione numerica dell'equazione di Richards, nel rispetto dell'equazione di bilancio idrico, consente di calcolare l'andamento del contenuto d'acqua del terreno $\theta(z, t)$ lungo tutto il profilo radicato, al variare del tempo. Noto $\theta(z, t)$, è possibile ricavare il profilo di suzione $s(z)$ avvalendosi delle curve di ritenzione idrica (*SWCC*) disponibili nella letteratura specializzata (es: Fredlund & Xing, 1994; Van Genuchten, 1980).

Infine dal profilo di suzione, adottando un criterio di rottura che tenga conto della parziale saturazione (es.: Fredlund *et al.*, 1996; Rassam e Cook, 2002; Vanapalli *et al.*, 1996), è possibile valutare la resistenza a taglio del

terreno e le condizioni di equilibrio del pendio sinteticamente espresse dal fattore di sicurezza FS .

Ad esempio, assumendo come criterio di rottura per un terreno non saturo l'equazione proposta da Vanapalli *et. al.*, (1996), la resistenza a taglio risulta direttamente influenzata da θ e da s tramite la:

$$\tau_f = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + s \cdot \left[\tan \phi' \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right] \quad (7)$$

ove $(\sigma_n - u_a)$ è la tensione normale netta e θ_s, θ_r rappresentano rispettivamente il contenuto d'acqua a saturazione e quello residuo.

Con riferimento allo schema di pendio indefinito, il coefficiente di sicurezza può essere ancora calcolato con l'eq.ne 4, nella quale la resistenza del terreno τ_f è valutata mediante l'equazione (7).

3. UN ESEMPIO DI INTERVENTO MEDIANTE IMPIANTO ERBACEO A RADICAZIONE PROFONDA

Un tipico esempio di impianto di specie erbacee a radicazione profonda, finalizzato alla prevenzione dell'erosione e alla stabilizzazione superficiale di pendii, è fornito dall'intervento eseguito in una località dell'Italia Centrale e rappresentato nelle Figure 5 e 6. In particolare nel dicembre 2004, in corrispondenza di una scarpata di notevole altezza e forte pendenza (70 – 80 gradi) costituita da piroclastiti e affioramenti basaltici fortemente alterati, si è verificato un movimento superficiale che ha ostruito la sottostante SP111 della Badia (v. Fig. 5a).

A distanza di pochi mesi dall'intervento, le specie erbacee impiantate hanno completamente ri-naturalizzato il versante nonostante le condizioni litologiche e morfologiche sfavorevoli all'attecchimento. L'impianto erbaceo a radicazione profonda ha bloccato l'erosione (cfr. Fig. 5b).

Quest'ultima affermazione risulta particolarmente evidente dalla Figura 6, che mostra le canalette poste al piede del pendio prima e dopo l'intervento, ed evidenzia l'efficacia della tecnologia nel minimizzare le attività di manutenzione delle opere di regimentazione idraulica.

4. CONCLUSIONI

Fenomeni di erosione e fenomeni superficiali d'instabilità dei versanti possono essere efficacemente contenuti mediante l'impianto di coltri vegetali con apparato radicale relativamente profondo. Tale tecnologia, consistente nella semplice realizzazione - mediante semina - di impianti costituiti da piante erbacee perenni, appare di efficace e rapida realizzazione e non richiede alcuna manutenzione.



Figura 5. Orvieto (Terni) - SP111 della Badia: a) situazione del versante nel dicembre 2004, prima dell'intervento; b) dopo l'intervento di rinaturalizzazione (maggio 2006).



Figura 6. Orvieto (Terni) - SP111 della Badia: a) canaletta intasata (foto settembre 2005); b) canaletta pulita (foto maggio 2006).

Si riconosce che l'impianto erbaceo a radicazione profonda può indurre effetti sulle condizioni idrauliche e meccaniche dei terreni che a loro volta si riflettono sulle condizioni di equilibrio di potenziali porzioni superficiali di terreno in movimento.

Nell'esempio riportato nella nota si mostra che i prati armati non solo costituiscono una tecnica di protezione dall'erosione, ma possono costituire un efficace metodo per la protezione di scarpate naturali e artificiali, non tanto per la profondità radicale ma in quanto diminuiscono l'infiltrazione e favoriscono l'asportazione di acqua grazie alla traspirazione. L'effetto dell'impianto attribuibile sia al rinforzo meccanico offerto dalle radici stesse sia alla capacità dell'apparato epigeo sia di intercettare parte della precipitazione meteorica sia di assorbire acqua dal suolo trasferendola all'atmosfera per traspirazione.

Da parte dell'Università degli Studi di Perugia è stato recentemente avviato uno studio mirato alla modellazione numerica dei meccanismi di interazione meccanica/idraulica tra le radici ed il terreno. I risultati dello studio, in via di approfondimento, consentono la stima quantitativa dell'incremento di resistenza a taglio del terreno offerto dall'impianto, e la valutazione delle condizioni di equilibrio e sicurezza limitatamente a fenomeni di instabilità superficiale.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.
- BISCHETTI G.B., BONFANTI F., GREPPI M. (2001). *Misura della resistenza a trazione delle radici: apparato sperimentale e metodologia d'analisi*. Quaderni di Idronomia Montana, 21/1, 349-360.
- BISCHETTI G.B., CHIARADIA E. A., EPIS T. (2009). *Prove di trazione su radici di esemplari di piante PRATI ARMATI®. Rapporto conclusivo*. Dipartimento di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano.
- BONFANTI F., BISCHETTI G., (2001). *Resistenza a trazione delle radici e modello di interazione terreno - radici*. Istituto di Idraulica Agraria, Milano - Rapporto interno.
- BRADEN, H., (1985). *Ein Energiehaushalts- und Verdunstungsmodell für Wasser und Stoffhaushaltsuntersuchungen landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete*. Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, 42, 294-299.
- FEDDES, R.A., (1987). *Crop factors in relation to making reference crop evapotranspiration*. In *Evaporation and weather*, TNO Committee on Hydrological Research, 39, p. 33-46.
- FREDLUND, D. G., AND XING A., (1994). *Equations for the soil-water characteristic curve*. Canadian Geotechnical Journal, 31: 521-532.
- FREDLUND, D.G., XING, A., FREDLUND, M.D., AND BARBOUR, S.L. (1996). *The relationship of the unsaturated soil shear strength to the soil-water characteristic curve*. Canadian Geotechnical Journal, 33: 440-448.
- GRAY D. H., OHASHI H. (1983). *Mechanics of fiber reinforcement of sand*. Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE.
- GRAY D. H., LEISER A. T. (1989). *Biotechnical slope protection and erosion control*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida.
- GRAY D. H., SOTIR R. B. (1996). *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. John Wiley and Sons.
- HARGREAVES, G.L., AND Z.A. SAMANI (1985). *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Applied Engineer. In Agric., 1, 2, 96-99.
- RASSAM D.W., COOK F., (2002). *Predicting the shear strength envelope of unsaturated soils*. Geotechnical Testing Journal, Technical Note, 25: 215-220.
- RETTORI A., CECCONI M., PANE V., ZAROTTI C. (2010). *Stabilizzazione superficiale di versanti con la tecnologia Prati Armati®: implementazione di un modello di calcolo per la valutazione del coefficiente di sicurezza*. Accademia Nazionale dei Lincei - X Giornata Mondiale dell'Acqua, Convegno: Frane e Dissesto Idrogeologico, marzo 2010.
- RICHARDS, L.A. (1931). *Capillary conduction of liquids through porous medium*. Physics, Vol. 1.
- VANAPALLI, S.K., FREDLUND, D.G., PUFAHL, D.E., CLIFTON, A.W. (1996). *Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction*. Canadian Geotechnical Journal, 33: 379-392.
- VAN DAM, J.C., J. HUYGEN, J.G. WESSELING, R.A. FEDDES, P. KABAT, P.E.V. VAN WALSUM, P. GROENENDIJK AND C.A. VAN DIEPEN, (1997). *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Wageningen University and Alterra. Technical Document 45.
- VAN GENUCHTEN, M. TH. (1980). *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal, 44: 892-898.
- VON HOYNINGEN-HÜNE, J., (1983). *Die Interception des Niederschlags in landwirtschaftlichen Beständen*. Schriftenreihe des DVWK 57, 1-53.
- WALDRON LJ, (1977). *The shear stress resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil*. Soil Science Society of America Proceedings, 41:843-849.
- WU T.H. (1976). *Investigation on landslides on Prince of Wales Island, Alaska*. Geotech. Rpt. No 5 (1976). Dpt. Of Civil Eng., Ohio State Univ., Columbus OH, 94 pp.
- W.H. WISHMEIER, D.D. SMITH (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain*. Agr. Handbook, n. 282, U.S. Dept. of Agr.
- W.H. WISHMEIER, D.D. SMITH (1978). *Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning*, Agr. Handbook, n. 537, USDA, Washington, USA.

ABSTRACT

BIOTECHNICAL SLOPE PROTECTION AND EROSION CONTROL

Keywords: soil erosion, mechanics of root reinforcement, role of vegetation on slope stability.

Erosion phenomena are broadly diffused in Italy. Different techniques of erosion control and soil protection have been developed in recent years. Among them, an innovative and natural technology is noted. This employs only perennial, deep rooting grassy plants. The biotechnology allows operating even in areas with prohibitive climatic conditions for the development of vegetation. Moreover, the technology sounds rather promising in the protection and superficial stability of slopes.

The role of vegetation can be investigated in terms of mechanical and hydraulic effects. The mechanical effects of the plant roots, which are already widely acknowledged in the specific literature, are due to the root/soil interaction processes; on the other hand, the hydraulic effects of roots can be ascribed to the significant reduction of water content and degree of saturation which, in turn, increase the soil shear strength, thus improving the slope equilibrium conditions.

Starting from the understanding of such mechanical/hydraulic interaction mechanisms between the planted roots and the soil, the research sets as a final goal the quantitative assessment of such effects and their modeling and implementation in a computing algorithm.

QUARTA SESSIONE
PREVENZIONE DEL RISCHIO
IDROGEOLOGICO
PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Rischio idraulico e pianificazione in provincia di Venezia

ANDREA VITTURI
Geologo, già dirigente del Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo della Provincia di Venezia

VALENTINA BASSAN
Geologo, Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio della Provincia di Venezia

CHIARA FASTELLI
Ingegnere, Servizio Protezione Civile della Provincia di Venezia

1. CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL TERRITORIO PROVINCIALE

La provincia di Venezia ha una superficie di 2469 kmq (di cui circa 600 occupata da spazi lagunari) e una popolazione residente di circa 860.000 abitanti (cui deve sommarsi una cospicua presenza turistica, presente tutto l'anno ma principalmente nel periodo estivo). Geograficamente è situata nella pianura padana, nel territorio a valle della fascia delle risorgive; la sua parte più orientale (portogruarese) è nella pianura veneto-friulana.

Le quote vanno da +20 m s.l.m. a -4 m s.l.m. Di rilevante interesse è il fatto che ben il 47% del territorio (pari a 1160 kmq circa) è posto al di sotto del livello del mare.

La situazione altimetrica della provincia è raffigurata in Fig. 1.

Questa particolarità altimetrica è dovuta principalmente alle bonifiche idrauliche che hanno recuperato da paludi e lagune ampi tratti di territorio, ora coltivati e su cui insistono vari centri abitati, zone industriali e case sparse.

Il territorio provinciale è anche solcato dalla parte terminale di alcuni dei maggiori fiumi

italiani: Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta - Bacchiglione e Adige; tra gli altri corsi d'acqua d'interesse locale si citano: Lemene (con Reghena e Loncon), Sile, Dese, Marzenego, Naviglio Brenta, Taglio Nuovissimo, Gorzone, canale dei Cuori; essi vengono rappresentati nella cartografia della Fig. 2, comprendente altri tematismi descritti in seguito.

Si accenna soltanto al fatto che gli alvei ora percorsi, nel territorio provinciale, da molti corsi d'acqua sono spesso frutto di grandi lavori realizzati dalla Repubblica di Venezia per deviarli dai loro percorsi naturali, e ciò al fine di allontanarli dalla laguna di Venezia in quanto con i loro sedimenti di piena tendevano a interrare la laguna stessa; la laguna infatti rappresentava per Venezia quello che per le altre città erano le fortificazioni murarie. A solo titolo d'esempio, il Brenta è stato deviato dal suo percorso originario, sostanzialmente quello ora percorso dal Naviglio Brenta, a quello attuale, che sfocia fuori della laguna a sud di Chioggia.

Oltre ai corsi d'acqua descritti, vi è una fitta rete idrografica minore al servizio della bonifica idraulica del territorio, qui non rappresentabile per motivi di scala. Da segnala-

re, inoltre, che il Po scorre a meno di 5 km dal confine provinciale.

Quanto sopra viene rappresentato in modo assai eloquente da una sezione topografica (Fig. 3) tracciata nella parte meridionale della provincia, nel territorio di competenza del Consorzio di bonifica Adige Euganeo (già Adige Bacchiglione). In essa viene evidenziata, in modo molto didattico, l'attuale situazione altimetrica e idrometrica, con i campi coltivati, le abitazioni ecc. posti ben al di sotto del livello del medio mare e con gli argini dei fiumi e della restante rete idrografica per lo più di molto sovrastanti il piano campagna; è inoltre riportato il livello normale dell'acqua all'interno degli argini e il suo livello raggiungibile in occasione della massima piena.

Sempre nel territorio provinciale è da rilevare che, scorrendo i fiumi all'interno di argini che si stagliano al di sopra del piano campagna, le acque meteoriche non possono trovarvi recapito e, mancando ora la possibilità di defluire naturalmente verso le antiche lagune e paludi e neppure nella laguna di Venezia né in quella di Caorle - Bibione, la bonifica idraulica deve intercettarle tramite

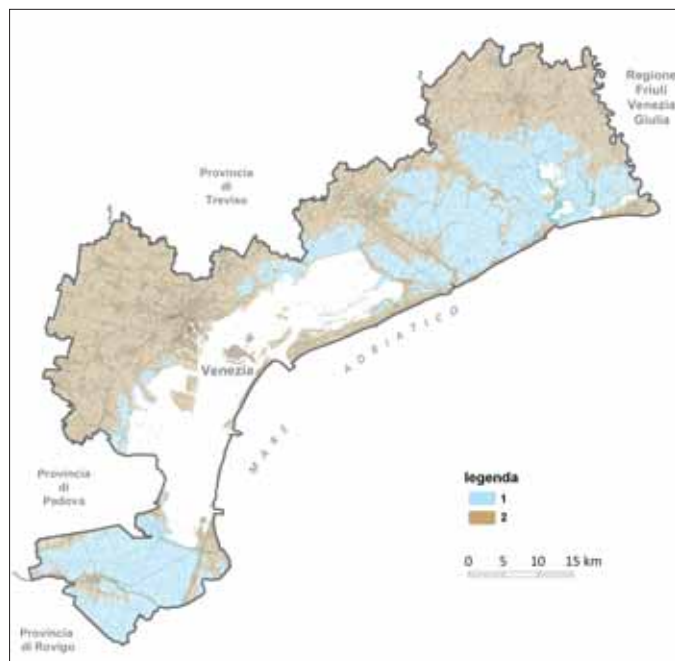


Figura 1 – Carta delle fasce altimetriche della provincia di Venezia (Legenda: 1: terreni posti a quote superiori a 0 m s.l.m.; 2: terreni posti a quote inferiori a 0 m s.l.m.).

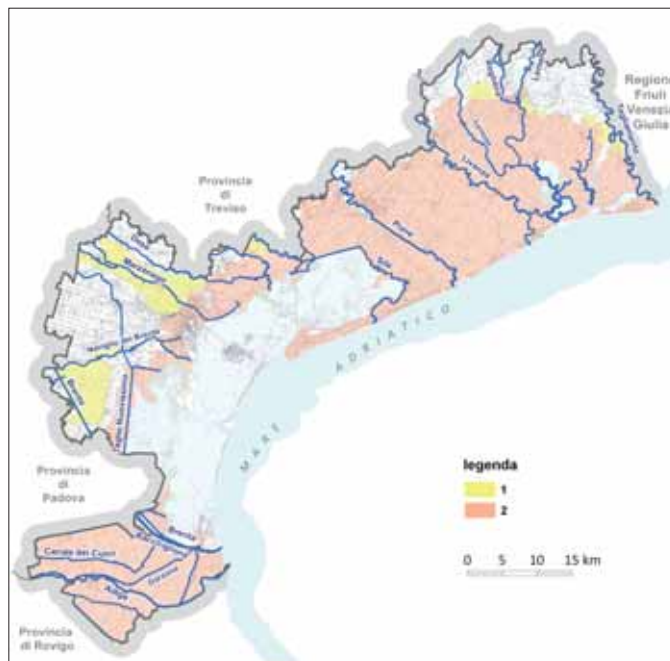


Figura 2 – Idrografia principale e bonifica idraulica (Legenda: 1: scolo alternato; 2: scolo meccanico; in bianco le zone a scolo naturale).

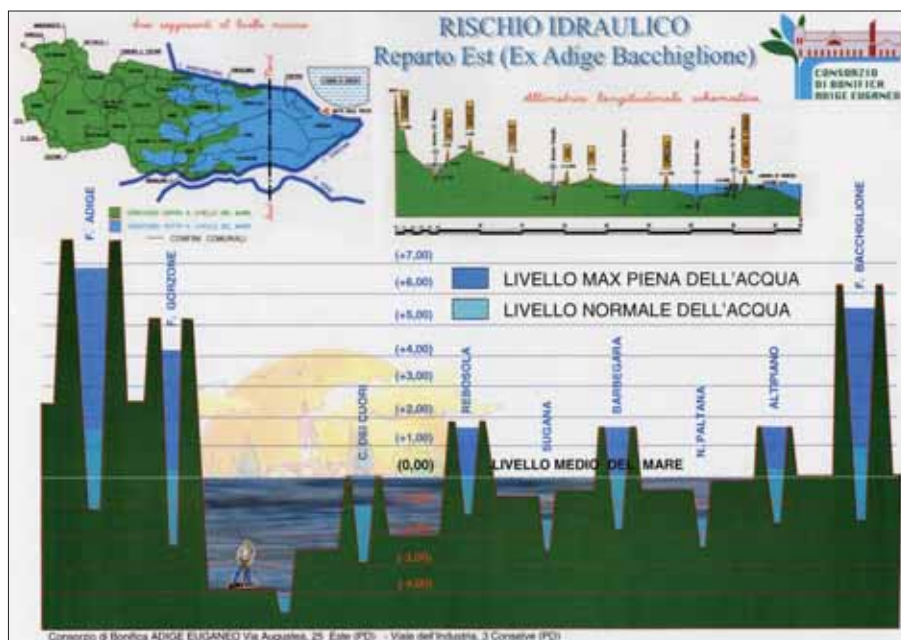


Figura 3: Sezione altimetrica e idrografica nella parte orientale del Consorzio di bonifica Adige Euganeo (già Adige Bacchiglione).

una fitta rete di scoline e canali per convogliarle in punti specifici nei quali, con potenti pompe, dette "idrovoce", vengono scaricate al di fuori del perimetro del bacino idraulico di appartenenza; il corpo ricettore finale delle acque così sollevate è un corso d'acqua defluente in mare o in laguna.

Vi sono quindi zone in cui lo scolo delle acque meteoriche avviene per gravità ("scolo naturale") e altre in cui ciò avviene attraverso il pompaggio sopra descritto ("scolo meccanico"). In alcune zone il deflusso avviene normalmente con scolo naturale, ma in determinate situazioni si ricorre allo scolo meccanico; si tratta di aree a "scolo alternato".

Nella planimetria della Fig. 2 sono rappresentati i territori di pertinenza dei diversi tipi di scolo. Risulta assai evidente che la parte di territorio a scolo naturale ha una superficie inferiore a quella a scolo meccanico.

2. IL RISCHIO IDRAULICO DALLA RETE IDROGRAFICA MINORE E DALLE RETI DI DRENAGGIO URBANE

Per brevità si rimanda alla letteratura esistente per quanto concerne le definizioni di "rischio", "pericolosità", "vulnerabilità" e "valore esposto".

Nel territorio provinciale di Venezia la pericolosità idraulica è legata a molteplici fattori che possono essere riassunti come di seguito:

- esondazioni dalla rete idrografica principale;
- esondazioni dalla rete idrografica minore;
- allagamenti conseguenti a eventi pluviometrici particolarmente intensi e di breve durata.

Le inondazioni causate dalle piene dei fiumi sono legate alla possibilità che si

verifichino delle rotture e/o tracimazioni in corrispondenza degli argini; questi eventi, pur verificandosi con una bassa frequenza (tempi di ritorno dell'ordine dei 50 - 100 anni), sono quelli cui di norma è associato un maggior rischio (basti ricordare l'alluvione del 1966).

Gli allagamenti dovuti alla rete idrografica minore sono invece riconducibili, oltre che alle tracimazioni o alle rotture delle arginature, all'insufficienza o al malfunzionamento

degli impianti idrovoci e al cedimento o malfunzionamento dei manufatti idraulici, quali botti a sifone, sottopassanti, chiaviche di regolazione ecc. Sebbene questi eventi si verifichino con una frequenza maggiore rispetto a quelli che interessano la rete idraulica principale, si può stimare che i danni che possono provocare siano di due ordini di grandezza minori rispetto a quelli dovuti ai fiumi principali.

Passando all'analisi dei fenomeni alluvionali connessi a eventi pluviometrici particolarmente intensi e di breve durata, invece, questi possono essere dovuti al sotto-dimensionamento delle reti fognarie e/o alla difficoltà di ricezione del reticolo idrografico di bonifica. Tombinamenti con diametri insufficienti, manutenzioni non eseguite, territori caratterizzati da superfici impermeabili sempre più vaste sono tra le principali cause di quegli allagamenti che, sempre più di frequente, interessano vaste aree del territorio provinciale.

Quanto attiene alle piene dei fiumi, di competenza delle Autorità di bacino (Piani d'Assetto Idrogeologico PAI e relativi Progetti PPAI) e della Regione Veneto, non viene qui trattato in quanto ci si sofferma esclusivamente sugli altri due tipi di fenomeni.

Il periodo trascorso dalla bonifica principale del territorio è mediamente di un centinaio di anni, anche se alcune bonifiche e i rispettivi impianti risalgono a epoche ancor più lontane. Il dimensionamento della rete di

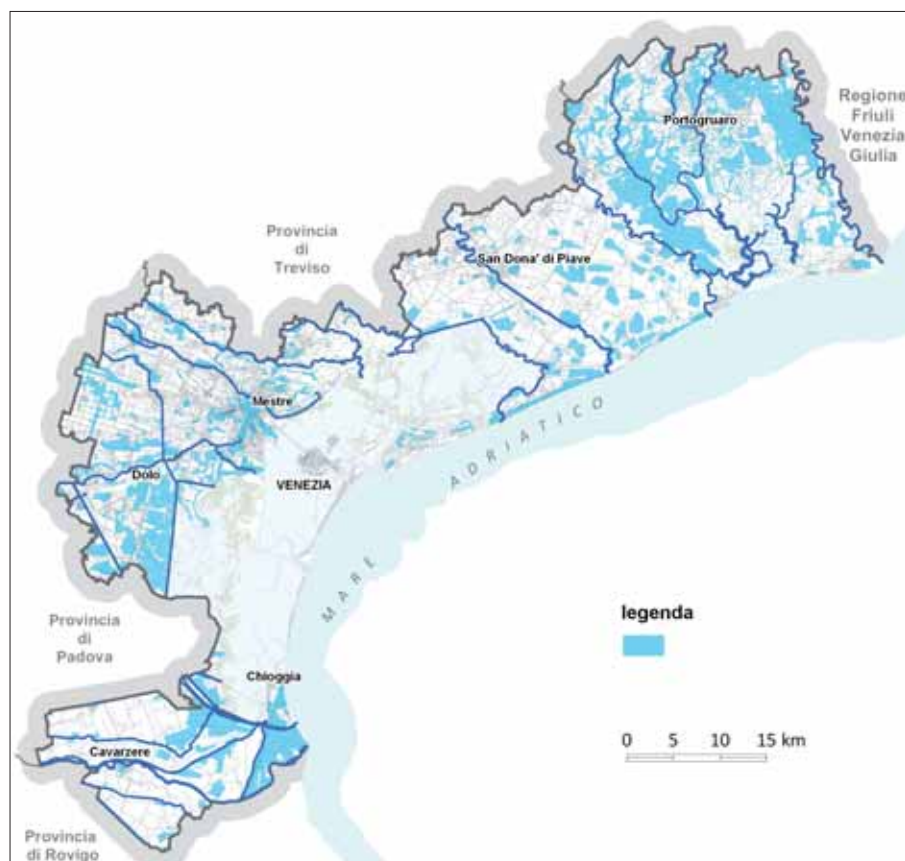


Figura 4: Zone allagate (2000-2009) dalla rete idrografica minore e dalle reti di drenaggio urbane

bonifica dimostra quindi oggi tutti i suoi limiti in conseguenza del profondo mutamento che ha subito in questi decenni il territorio bonificato. La rilevante urbanizzazione, che ha modificato in maniera sostanziale le caratteristiche di impermeabilità del suolo e le risposte del suolo stesso, ha ridotto i volumi di invaso disponibili; il manifestarsi di fenomeni meteorologici di particolare avversità e intensità legati ai cambiamenti climatici in atto concorrono a provocare, con drammatica frequenza, fenomeni di allagamento di particolare gravità. Se a ciò si aggiungono le caratteristiche fisico-territoriali della provincia, e cioè la presenza di ampie aree (pari a circa la metà di tutta la provincia) giacenti sotto il livello medio del mare, il fenomeno della subsidenza (per cui alcune zone si abbassano progressivamente di anno in anno di qualche centimetro), il lungo cordone litoraneo esposto all'azione delle mareggiate e della marea (che condiziona il regolare deflusso dei corsi d'acqua) e altresì le carenze dimensionali/strutturali di canali e manufatti, quali l'insufficienza e/o il malfunzionamento degli impianti idrovori di sollevamento, risulta evidente come, di fatto, tutto il territorio provinciale risulta essere a "pericolosità idraulica".

In conseguenza delle profonde trasformazioni sopra descritte e dei cambiamenti climatici in atto, si determina una generalizzata carenza degli elementi necessari per una puntuale e attendibile individuazione degli allagamenti in funzione dei tempi di ritorno o dello spessore della lama d'acqua. Sono state quindi rappresentate, nella cartografia di Fig. 4, le aree che sono state allagate recentemente (circa negli anni dal 2000 al 2009 compresi) da parte della rete idrografica minore e dalle reti di drenaggio urbane.

Non è stato quindi attribuito un grado di pericolosità (e cioè di *probabilità di accadimento di un evento calamitoso*), ma si è voluta indicare una funzione esclusivamente conoscitiva di alcune situazioni di criticità, che risultano il più delle volte correlate a intensi fenomeni meteorologici localizzati, a uno scorretto uso del suolo e solo in minor misura a mancati adeguamenti e cattivo funzionamento delle opere, dei manufatti e degli impianti di deflusso delle acque. L'intero territorio provinciale presenta quindi una "potenziale pericolosità idraulica", causa la sua estrema fragilità e la possibilità che, in particolari circostanze e con eventi di particolare intensità, si verificino allagamenti pressoché ovunque.

3. IL RISCHIO IDRAULICO NELLA PIANIFICAZIONE PROVINCIALE

3.1. GENERALITÀ

Il rischio idraulico è stato esaminato, da parte della Provincia di Venezia, prima

nell'ambito del Piano Provinciale d'Emergenza (PPE) e, successivamente, nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP).

Fino a non molti anni addietro il territorio veniva quasi considerato una *tabula rasa* per la pianificazione urbanistica; negli ultimi anni invece, complici anche i tanti eventi calamitosi, avvenuti anche per aver costruito in zone geologicamente a rischio, sia la cultura urbanistica che quella legislativa hanno fatto evidenti passi in avanti, e quindi la preventiva conoscenza del territorio oggetto di pianificazione dovrebbe essere ormai data generalmente per acquisita. Nella realtà c'è ancora molto da fare in quanto i tanti interessi insiti nella pianificazione e nell'edilizia e la *cultura della prevenzione* che stenta a farsi strada fanno sì che troppo spesso si invochi la "sorpresa geologica" laddove le conoscenze necessarie non sono state preventivamente e adeguatamente acquisite.

Ma ora, per lo meno nel Veneto, i contenuti della pianificazione d'emergenza, e *in primis* proprio le "prescrizioni in materia di assetto e di uso del suolo", sono diventate un *prius* rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica sin dalle loro fasi iniziali.

La questione riguardante la definizione di una "gerarchia degli strumenti per la difesa ed il governo del territorio", già apertasi vent'anni fa con l'approvazione della Legge 183/89 sulla difesa del suolo che prefigurava il bacino idrografico quale riferimento territoriale per il governo del territorio e quale unità territoriale di pianificazione, assume quindi, per effetto della nuova valenza che si vuole dare alla pianificazione di emergenza, una maggiore importanza e attualità.

3.2. PIANIFICAZIONE DI PROTEZIONE CIVILE

Semplificando l'*excursus* normativo, che sostanzialmente inizierebbe dalla L. 225/92, si rileva che la L.R.V. 13.04.01, n. 11 all'art. 107, c. 2 prescrive che "Le indicazioni o le prescrizioni in materia di assetto del territorio e di uso del suolo contenute negli strumenti di pianificazione provinciale di protezione civile costituiscono elementi vincolanti di analisi per la predisposizione e l'aggiornamento dei piani territoriali provinciali (PTCP) e degli altri piani di settore di livello provinciale".

Con i vari studi fatti dalla Provincia di Venezia nell'ambito delle competenze provinciali in tema di Difesa del Suolo e Protezione Civile, ampio spazio era stato dato all'acquisizione delle necessarie conoscenze anche nel campo del rischio idraulico, collaborando con i vari enti competenti in materia e commissionando anche specifiche indagini (tra cui, allora quasi un proto-

tipo, il "Modello matematico di previsione delle piene").

Le conoscenze sul rischio idraulico sono via via andate perfezionandosi: dal Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione (1999) si è passati ai Piani Provinciali di Emergenza - PPE (2001 - 2003 - 2008). Essendo il rischio idraulico materia d'interesse primario per vari enti (Regione Veneto, Province, Comuni, Autorità di bacino, Consorzi di bonifica, Magistrato alle Acque), le conoscenze a vario titolo acquisite sono state sinergicamente da loro messe in rete. Ulteriori preziose conoscenze sono state poi implementate da parte del Commissario per l'emergenza idraulica nominato dal Governo a seguito di recenti, gravi alluvioni che hanno colpito anche il territorio veneziano, con particolare riferimento all'alluvione di Mestre del 26.09.2007; da notare che la Provincia fa parte a pieno titolo della suddetta struttura commissariale.

Quindi, sia quanto riguarda il rischio idraulico dei grandi fiumi che quello derivante dalla rete idrografica minore è stato compreso nel PPE e poi, di conseguenza, anche nel PTCP.

3.3. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Il PTCP, approvato dalla Regione Veneto con D.G.R.V. n. 3359 del 30.12.2010 e pubblicato dalla Provincia con D.G.P. n. 8 del 1.02.11, ha quindi da un lato recepito, nelle sue cartografie, quanto definito nel PPE in materia di rischio idraulico, ma in più ha dettato norme specifiche per dare concreta attuazione in urbanistica alle conoscenze acquisite.

Viene qui sintetizzato quanto di maggior interesse nel campo del rischio idraulico. In questa relazione non si è invece considerato il "Rischio da mareggiate e difesa della costa", argomento pure trattato molto approfonditamente dal PPE prima e dal PTCP poi.

Innanzitutto è bene far presente che uno dei pochi macro-obiettivi del PTCP è proprio la salvaguardia dal rischio idraulico. Si ritiene che essere arrivati a questa importante "conquista", per niente scontata, sia dovuto sia agli eventi alluvionali che hanno fortemente colpito negli ultimi anni il territorio provinciale, ma anche alla metodica opera di raccolta dati, promozione di indagini anche innovative (quali il modello matematico di previsione delle piene), divulgazione delle informazioni con pubblicazioni e manifestazioni pubbliche ecc. da parte del Servizio Protezione Civile e Difesa del Suolo della Provincia.

Nelle "Norme Tecniche d'Attuazione" (NTA) del PTCP il rischio idraulico è trattato nei seguenti temi:

- *obiettivi*: oltre a recepire le indicazioni del PPE, il PTCP promuove, tra l'altro, azioni

che riducano il rischio idraulico e organizzano le forme d'uso del territorio in termini di maggiore compatibilità con i fattori fisici legati al regime dei corsi d'acqua, dei sistemi di bonifica e della rete idrografica minore; promuove il riassetto idraulico complessivo del territorio e armonizza la pianificazione e la programmazione dell'uso del suolo con la pianificazione delle opere idrauliche e di bonifica, dando specifiche direttive per la formazione degli strumenti urbanistici comunali e intercomunali (PAT/PATI);

- *indirizzi*: la Provincia concorre a promuovere studi e modelli proiettivi e valutativi;
- *direttive per le aree di mitigazione e per la compensazione idraulica*: esse richiamano e confermano le indicazioni regionali sulla presentazione della "Valutazione di compatibilità idraulica"; indicano che i Comuni devono individuare (d'intesa con gli enti competenti in materia di rischio idraulico) le aree idonee per svolgere, anche temporaneamente, la funzione di mitigazione e di compensazione idraulica; i PAT/PATI dovranno contenere i criteri per l'individuazione di analoghe aree in occasione di strumenti urbanistici attuativi, progetti di opere pubbliche o d'interesse pubblico, DIA ecc.; nelle nuove aree urbanizzate dovranno essere individuate al loro interno superfici con funzione di invaso superficiale in grado di mantenere l'invarianza idraulica;
- *direttive per le aree assoggettate a pericolosità idraulica come individuate dai PAI/PPAI*: i Comuni, adeguando i propri strumenti urbanistici ai Piani di Bacino, approfondiscono e aggiornano le valutazioni di rischio e di pericolo, avanzando eventuali proposte di modifica;
- *direttiva "Piano delle Acque"*: viene prevista la redazione di un documento di analisi, programmazione e gestione delle acque meteoriche, definito appunto "Piano delle Acque" a scala comunale; questo aspetto viene specificatamente trattato nel paragrafo 3.5;
- *prescrizioni*: qualsiasi intervento, previsto prima del recepimento da parte dei PAT/PATI delle direttive sopra indicate, atto a modificare il regime idraulico esistente dovrà prevedere la totale compensazione dell'impermeabilizzazione del suolo mediante misure tecniche definite col competente Consorzio di bonifica; inoltre, non sono consentite riduzioni della capacità d'invaso.

3.4. ORDINANZE COMMISSARIALI

Recenti alluvioni (2006: Miranese, 2007: San Michele al Tagliamento, Mestre e area

centrale della provincia, 2008: Chioggia, 2009: Cavarzere e Riviera del Brenta, 2010: Vicenza e Caldogeno, Monteforte e San Bonifacio VR, cintura urbana di Padova e bassa padovana ...) hanno evidenziato una volta di più l'elevata fragilità del territorio regionale e provinciale. Per questo già per l'alluvione del 2007, e poi per quella del 2010, il Governo ha deciso di affidare a un Commissario con elevati poteri l'incarico di sbloccare varie opere necessarie per ridurre il rischio idraulico in vaste aree, oltre di occuparsi di quanto attiene a risarcimenti. Gli ormai evidenti cambiamenti climatici hanno contribuito a creare il consenso necessario per ricorrere a questo strumento emergenziale che, con la professionalità anche di tutta la sua struttura, ha consentito al Commissario per l'emergenza idraulica di risolvere molte situazioni a rischio anche nella nostra provincia. In particolare le ordinanze cogenti e immediatamente applicabili, quali quelle relative all'invarianza idraulica delle opere, sono state anche sostanzialmente recepite dal PTCP.

3.5. PIANI DELLE ACQUE

Anche le Direttive del PTCP per i Piani delle Acque hanno tenuto in debita considerazione l'attività commissariale. I primi piani delle acque sono già stati presentati; infatti i Comuni hanno stanziato le relative risorse economiche, in parte perché ormai essi sono obbligatori, ma molto anche perché vi è ora la convinzione comune sulla loro utilità.

In base alle Direttive del PTCP i Piani delle Acque perseguono, tra gli altri, i seguenti obiettivi:

- integrare le analisi relative all'assetto del suolo con quelle di carattere idraulico e in particolare della rete idrografica minore;
- acquisire, anche con eventuali indagini integrative, il rilievo completo della rete idraulica di prima raccolta delle acque di pioggia a servizio delle aree già urbanizzate;
- individuare, in base alla competenza dei diversi enti pubblici (Regione, Consorzi, altri), i vari corsi d'acqua, nonché le condotte principali della rete comunale per le acque bianche o miste, e inoltre i fossi privati aventi carattere d'interesse pubblico;
- determinare l'interazione tra la rete di fognatura e quella di bonifica;
- individuare le principali criticità idrauliche dovute alla difficoltà di deflusso per carenze della rete minore e quanto necessario per il suo adeguamento;
- favorire l'invaso delle acque per non trasferire a valle i problemi idraulici;
- individuare i problemi idraulici del sistema di bonifica e le soluzioni nell'ambito

del bacino idrografico, nonché i criteri per una corretta gestione e manutenzione della rete idrografica minore;

- predisporre delle apposite "Linee guida comunali" per la progettazione e realizzazione dei nuovi interventi edificatori che possano causare un aggravio della situazione di "rischio idraulico" presente nel territorio (tombinamenti, parcheggi, lottizzazioni ecc.).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli approfonditi studi realizzati relativamente agli aspetti fisico-ambientali del territorio provinciale hanno avuto, complessivamente, piena utilizzazione nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), che a sua volta ha doverosamente recepito quanto previsto dal Piano Provinciale d'Emergenza (PPE).

Mentre però il PPE dà principalmente indicazioni sulla gestione delle emergenze, la valenza urbanistica del PTCP consente, per il tramite delle NTA, d'incidere sui comportamenti in atto e futuri in modo da diminuire il rischio idraulico nel territorio provinciale. Esso, infatti, è assai rilevante causa la presenza dei tratti terminali di alcuni dei maggiori fiumi italiani e la soggiacenza di circa metà provincia rispetto al livello del mare, da cui oltre metà della provincia risulta sottoposta a bonifica idraulica con tutto ciò che questo implica.

Le NTA danno direttive, ma anche prescrizioni, di rilevante impatto, che invertono decisamente la tendenza rispetto a quanto avvenuto fino a un recentissimo passato e che consentono di tutelare quella ormai ridotta parte di territorio che può essere oggetto delle norme indicate.

Si ritiene che, fatto questo primo, importante passo, sarà necessario intervenire con criteri analoghi anche dov'è già stato da tempo edificato. Senza interventi radicali, e costosi, il territorio rimarrà a elevato rischio idraulico da parte della rete idrografica di bonifica e, soprattutto, delle reti urbane a causa delle sconsiderate modalità di pianificazione e di costruzione avvenute per troppi anni.

Sempre bene che la stalla venga chiusa, ma ormai i buoi sono quasi tutti scappati!

APPROFONDIMENTI

- http://difesasuolo.provincia.venezia.it/h_difesa.asp (Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio);
- <http://protezionecivile.provincia.venezia.it/ProtezioneCivile2/Index?pagina=1&id=home> (Servizio Protezione Civile);
- <http://ptcp.provincia.venezia.it/html/home.asp> (PTCP).

Delimitazione delle aree a rischio da colate detritiche in Friuli Venezia Giulia

CHIARA CALLIGARIS⁽¹⁾
email: calligar@units.it

LUCA ZINI⁽¹⁾
zini@units.it

FABRIZIO KRANITZ⁽²⁾
e-mail: fabrizio.kranitz@regione.fvg.it

PAOLO MANCA⁽²⁾
e-mail: paolo.manca@regione.fvg.it

(1) Università di Trieste, DiGEO
(2) Servizio Geologico, Regione Friuli Venezia Giulia

SESSIONE: Mitigazione (interventi strutturali) e prevenzione (pianificazione territoriale) del rischio idrogeologico.

Sommario: Nella giornata del 29 agosto 2003 il settore nord-orientale della regione Friuli-Venezia Giulia è stato colpito da violente ed intense precipitazioni, che hanno causato numerosi fenomeni di dissesto. Lungo i versanti si è verificata la mobilitazione di oltre un migliaio di frane, gran parte delle quali di prima generazione. Complessivamente l'evento alluvionale ha portato alla morte di due persone, 300 sfollati, 260 case lesionate e ingenti danni alle infrastrutture con l'interruzione prolungata della viabilità e delle normali attività. L'intensità di pioggia ha largamente superato le soglie d'innescio di fenomeni tipo debris flow e soil slip interessando estese aree ove erano predisponenti le condizioni geologiche e geomorfologiche.

In seguito a questo avvenimento eccezionale è stato messo a punto un protocollo operativo per la delimitazione oggettiva e l'attribuzione delle categorie di rischio agli areali interessati dai fenomeni di colata detritica.

Parole chiave: colate detritiche, back analysis, hazard map

INTRODUZIONE

Le colate detritiche sono processi che si sviluppano con frequenza in ambiente alpino e vengono considerati tra i più pericolosi e devastanti a causa della loro velocità e della capacità distruttiva che posseggono (Marchi, 2005; Sosio et al., 2006; Calligaris et al., 2009): le aree coinvolte infatti possono avere estensioni fino a 80-90 km² (Slaymaker, 1988).

La Val Canale, posta nell'estremo nord est d'Italia, nell'ultimo secolo è stata ripetutamente interessata da fenomeni di debris flow che hanno creato gravi danni economici e sociali. Dal punto di vista geologico, nella valle, la Dolomia dello Sciliar e la Formazione di Werfen affiorano con continuità in destra e in sinistra idrografica rispettivamente del Fiume Fella impostatosi, a sua volta, lungo uno dei maggiori sovrascorrimenti regionali: la Linea Fella Sava (Figura 1).

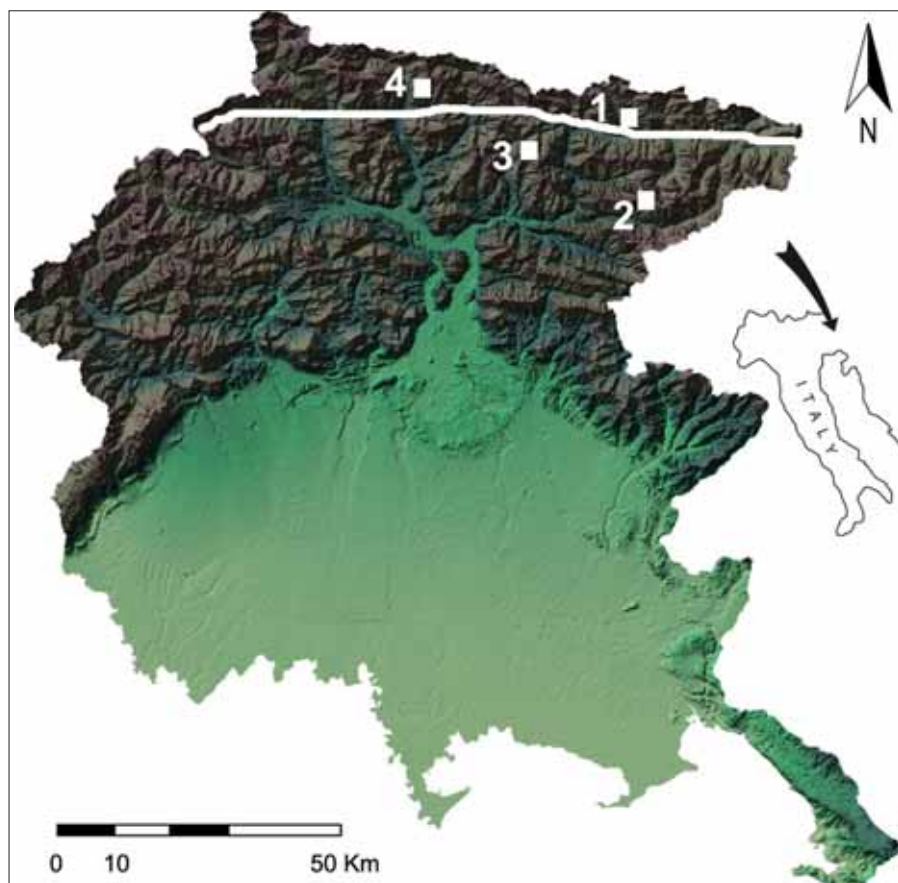


Figura 1: Regione Friuli Venezia Giulia: 1) Malborghetto – Ugovizza e Monte Cucco; 2) Monte Lussari; 3) Pontebba; 4) Paularo e il retro-scorrimento Fella-Sava.

La Val Canale, nel 2003, durante l'evento alluvionale, è stata severamente colpita da fenomeni di colata: la valle piuttosto stretta, l'acclività dei versanti e la forte tettonizzazione hanno fatto sì che vi fossero non solo i fattori predisponenti, ma anche quelli scatenanti per lo sviluppo dei fenomeni di dissesto. Questo evento decisamente intenso, ha fatto sì che si riattivassero vecchi fenomeni di frana e/o colata, ma ha anche dato origine a nuovi fenomeni di flusso iperconcentrato che si sono successivamente trasformati in debris flow portando a valle detriti, fanghi, rocce e legname. Tropeano e Turconi (2004) hanno stimato in circa 1 milione di metri cubi la massa totale di detriti e sedimenti mobilitati e depositati durante l'evento. L'impatto fluviale del 29 agosto ha prodotto importanti modifiche nella morfologia dell'area investita producendo incisioni importanti e ampliando notevolmente gli alvei torrentizi e fluviali

(Borga et al., 2007). Le colate hanno travolto abitazioni e viabilità isolando per giorni le località di Ugovizza, Valbruna, Malborghetto e Pontebba.

Per la Val Canale, nel 2003, era in fase di adozione il progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico di Bacino che delimitava anche le aree a rischio di colata detritica, e le cui misure di salvaguardia sono state sospese per le aree colpite dall'alluvione del 29 agosto, in virtù del regime commissariale instaurato a seguito degli eventi. I fenomeni verificatisi durante l'alluvione hanno, in alcuni casi, superato le perimetrazioni proposte dal Piano, depositando migliaia di metri cubi e creando danni ingenti. Negli anni immediatamente successivi la Protezione Civile della Regione FVG ha realizzato opere di mitigazione; è stata pertanto ravvisata la necessità di procedere ad un aggiornamento della perimetrazione delle aree, utilizzando strumenti tali

da garantire la non soggettività della perimetrazione. A tal proposito, sempre maggiori sono le prospettive di sviluppo di software in grado di fornire scenari di modellazione sempre più rispondenti alla realtà. Di concerto con il Servizio Geologico, per il presente lavoro di definizione delle nuove aree di pericolosità, si è ricorsi all'utilizzo del software commerciale Flo-2D che è in grado di riprodurre eventi di colata di detrito facendo fluire, su una superficie predefinita, un idrogramma di piena.

Dodici sono stati i bacini analizzati, per ciascuno dei quali con un lavoro di back analysis tramite modellazioni successive si sono definiti i parametri fisici e reologici che meglio riproducono i singoli fenomeni verificatisi.

L'EVENTO ALLUVIONALE

Il settore nord-orientale della Regione Friuli Venezia Giulia, in special modo la zona della Val Canale, Canal del Ferro e della Val Aupa, è stato interessato, nella giornata del 29 agosto 2003, da violente precipitazioni piovose caratterizzate da intensità elevata in particolar modo a partire dalle ore 12 (Tabella 1). Le piogge hanno dapprima interessato le zone in alta montagna, tra il Monte Cucco e le malghe di Malborghetto e Ugovizza, poi mano a mano si sono spostate verso valle con un'intensità via via crescente (Figura 1).

17 e le 17.30), di 88,6 mm per un'ora (15.30 – 16.30), di 233,4 mm per tre ore (14.30 – 17.30) e di 343,0 (12 - 18) per 6 ore. L'afflusso meteorico totale dell'evento, durato circa 12 ore è stato pari a 389,6 mm. Se confrontati con la serie storica delle piogge intense registrate a Pontebba elaborate utilizzando la distribuzione di Gumbel, le precipitazioni del 29 agosto 2003 risultano associate a tempi di ritorno superiori a 100 anni. Particolarmente impressionanti sono i valori corrispondenti alle durate di 3 e 6 ore. Le forti intensità rilevate appaiono in accordo con la grande intensità delle azioni morfodinamiche indotte da questo evento (Norbiato et al., 2007).

La maggior parte dei fenomeni franosi si è innescata tra le 14 e le 18 quando, alla stazione pluviometrica di Pontebba, si è registrato un valore di precipitazione complessiva pari a 293 mm. A nord dell'allineamento Pontebba – Ugovizza si sono verificati scrosci circoscritti di entità maggiore di 400 mm (Borga et al., 2005).

Le ricerche di Borga (2005) sulle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica ottenute tramite il metodo dei momenti lineari e il modello GEV (Generalized Extreme Value) per l'area nord orientale italiana hanno riconosciuto la rarità statistica delle precipitazioni che hanno generato in Val Canale il fenomeno di piena improvvisa dell'agosto 2003. L'even-

anni, mentre per la durata di 3 e 6 ore il tempo di ritorno varia tra 500 e 1000 anni (Borga et al., 2005; Zanon, 2010).

LA MODELLAZIONE DEI 12 BACINI

Di concerto con i tecnici del Servizio Geologico, sono stati scelti 12 bacini insistenti sul Fiume Fella sui quali si sono realizzate delle simulazioni di evento di colata detritica (Calligaris et al., 2008). Ciascuno di essi è stato analizzato separatamente, ma l'approccio metodologico è stato il medesimo per tutti.

Per la modellazione si è ricorsi al codice di calcolo bidimensionale FLO-2D basato sulla conservazione del volume. Tale codice simula un evento di colata lungo una superficie topografica predefinita, utilizzando come dati di input un idrogramma di piena, la viscosità plastica del materiale e il limite di scorrimento, essendo questi ultimi funzione della concentrazione volumetrica.

Per i bacini, la simulazione è stata realizzata su un dominio di calcolo costituito da una griglia di 5m*5m ottenuta dalla cartografia regionale CTRN in scala 1:5000 o, ove possibile, a partire da dati laser scanner.

Gli idrogrammi di piena sono stati realizzati dai ricercatori dell'Università di Padova (Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali) che hanno sviluppato un modello idrologico spazialmente distribuito (KLEM), tarandolo sull'evento alluvionale del 29 agosto. Tale modello utilizza i dati di piovosità provenienti sia dalle stazioni pluviometriche che dalle osservazioni radar ad alta risoluzione (Borga et al., 2007).

Per la back analysis poiché non erano disponibili dati reologici inerenti i bacini analizzati, si sono utilizzati parametri descritti in letteratura (O'Brien et al., 1988) e caratteristici delle litologie presenti nei siti indagati.

Per ogni bacino sono state realizzate almeno 12 simulazioni facendo variare di volta in volta i parametri d'ingresso e determinando i parametri fisici e reologici che meglio approssimano, per perimetrazione e spessori dei depositi coinvolti, l'evento verificatosi (Tab. 2).

Per quanto concerne le concentrazioni volumetriche Cv di picco, sono stati utilizzati valori minimi pari a 0.2 fino a raggiungere valori massimi di 0.55.

Il valore del coefficiente di Manning utilizzato è di 0.1, tipico di terreni con depositi detritici privi di vegetazione arbustiva; il peso di volume γ_m e il parametro di resistenza per il flusso lineare K sono stati valutati pari a 26,5 KN/m³ e 2085 rispettivamente, valori solitamente utilizzati in letteratura (Boniello et al., 2010; Calligaris et al., 2009; Tecca et al., 2006).

I parametri reologici caratteristici ricavati tramite il lavoro di back analysis sono stati utilizzati per simulare un nuovo evento di colata detritica. Le simulazioni sono state

Tabella 1 – Altezza e durata di precipitazione registrate dal pluviometro di Pontebba

Durata (ore)	Altezza (mm)	
	Pontebba (1996)	Pontebba (2003)
1	78,4	88,6
3	155,0	233,4
6	199,6	343,0
12	345,6	389,6
24	465,0	396,2

Modificata da Norbiato et al., 2007.

Il pluviometro di Pontebba, che è parte della rete gestita dalla Direzione Regionale della Protezione Civile, è stato l'unico strumento, in prossimità dell'area di studio, ad avere un funzionamento regolare nel corso dell'evento. Le dimensioni dell'evento registrato dal pluviometro di Pontebba indicano la gravità estrema del fenomeno. Si pensi infatti che dal 1928, anno di inizio della registrazione dei dati pluviometrici, non si erano mai verificati eventi di tali entità.

Nell'arco temporale considerato (dal 1928 al 2010), l'unico evento analogo risale al 22 giugno 1996, quando si ebbero 78,4, 155, 199,6 345,6 e 465 mm in 1, 3, 6, 12 e 24 ore rispettivamente. Quello che si evince dai dati registrati è che l'evento del 2003 ha raggiunto valori di precipitazione ragguardevoli soprattutto nell'intervallo tra le 3 e le 12 ore.

Nello specifico: si sono osservati valori massimi di 50,8 mm per 30 minuti (fra le

to del 2003 pur se dotato di caratteristiche di straordinarietà, non rappresenta tuttavia un evento isolato nel contesto della climatologia della regione: la magnitudo dell'evento è infatti paragonabile a quella di altri due eventi occorsi nei precedenti 20 anni e verificatisi il primo l'11 settembre 1983, con centro su Paularo ed il secondo il 22 giugno 1996 con centro sull'area di Moggio Udinese, Pontebba e Paularo.

Queste osservazioni sottolineano che eventi estremi risultano molto rari se ci si riferisce al sito specifico, mentre si presentano con frequenza non trascurabile se si considera tutto il territorio montano della Regione. Nell'elaborato di Borga sono stati stimati anche i tempi di ritorno delle altezze di pioggia dell'agosto 2003 a Pontebba. I tempi che caratterizzano l'evento variano considerevolmente con la durata: per le durate di 1 e 24 ore il tempo di ritorno si colloca tra 50 e 100 anni, per 12 ore esso è compreso tra 200 e 500

Tabella 2 – Coppie di parametri reologici rispondenti a diversi contesti idrogeologici utilizzati per le simulazioni di back analysis. Nell'ultima colonna è riportata la corrispondenza con i bacini studiati

η		τ		Riferimenti bibliografici	Bacino studiato
α_1	β_1	α_2	β_2		
0.036	22.1	0.181	25.7	Aspen Pit 1	Pontebba 2
0.0538	14.5	2.72	10.4	Aspen Pit 2	Rio Pirgler
0.00136	28.4	0.152	18.7	Aspen Natural Soil	Malborghetto Centro, Abitato Cucco
0.128	12	0.0473	21.1	Aspen Mine Fill	Malborghetto est, Studena bassa
0.000495	27.1	0.0383	19.6	Aspen Watershed	Fella sx
0.000201	33.1	0.291	14.3	Aspen Mine Source Area	Rio Cucco, Rio Ruscis
0.00283	23	0.0345	20.1	Glenwood 1	
0.0648	6.2	0.0765	16.9	Glenwood 2	
0.00632	19.9	0.000707	29.8	Glenwood 3	
0.000602	33.1	0.00172	29.5	Glenwood 4	Malborghetto nuovo, Pontebba 1
0.0075	14.39	2.6	17.48	Dai et al. (1980)	
0.0075	14.39	0.152	18.7	Tecca et al. (2006)	

Fonte: O'Brien et al., 1985.

condotte su una base topografica aggiornata che ha tenuto in particolare conto non solo le opere di difesa già realizzate sul territorio ma anche quelle in fase di ultimazione. Le aree di espansione e le altezze di deposito così ottenute sono state utilizzate per definire le nuove aree di pericolosità.

MODALITÀ DI DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E PERIMETRAZIONE

La procedura di valutazione della pericolosità fa riferimento a quanto predisposto dall'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico all'interno delle norme per la redazione del Piano per l'assetto idrogeologico (A.d.B., 2007). Esse prevedono la valutazione del rischio idrogeologico suddividendo le aree perimetrale del territorio in 4 classi di pericolosità da P1 moderata a P4 molto elevata. Il protocollo metodologico proposto dall'Autorità di Bacino riprende il metodo svizzero (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft – BUWAL, 1997) e lo contestualizza all'ambito territoriale di competenza (A.d.B., 2007).

La procedura prevede che ogni dissesto venga caratterizzato secondo tre parametri: severità geometrica, velocità e tempo di ritorno. Ogni parametro viene suddiviso in tre classi:

- velocità del fenomeno definita a partire dalla classificazione di Cruden & Varnes (1996), (< 16 mm/anno=classe 1; 16 mm/anno - 1,8 m/h=classe 2; >3m/min=classe 3);
- severità geometrica secondo gli indirizzi di Heinemann et al. (1998) e intesa come spessore del deposito (<2m=classe1; 2m-15m=classe 2; >15m=classe 3) o come diametro dei blocchi (< 0,5m=classe1; 0,5-2m=classe2; >2m=classe3);
- frequenza probabile, definita come tempo di ritorno di accadimento del fenomeno (1-30 anni=alta; 30-100 anni=media; 100-300 anni=bassa; > 300 anni=non definita).

Tali parametri vanno inseriti, a cascata in matrici che permettono di definire la magnitudo e la pericolosità per ciascun singolo fenomeno. In tutte quelle situazioni ove non siano disponibili dati sulla severità geometrica dei dissesti e non sia possibile farne una stima, la pericolosità può essere definita direttamente intersecando i dati della velocità con quelli della frequenza (Tabella 3 e Tabella 4).

Nel caso delle colate di detrito, l'applicazione di tale metodologia è semplice per tutti quei casi nei quali si possiedono informazioni su eventi già accaduti, ma diventa estremamente aleatoria e soggettiva in tutte quelle situazioni nelle quali non si hanno dati oppure in quei bacini nei quali si sono realizzate opere di mitigazione del rischio. Ecco che l'utilizzo di simulatori può venire in aiuto e fornire in modo più oggettivo i dati di base per l'applicazione del metodo e la definizione della pericolosità.

Tabella 3 – Matrice per la definizione delle classi di velocità in funzione della severità geometrica

	velocità			
	1	2	3	
Severità geometrica	1	1	2	3
	2	2	4	6
	3	3	6	9

Modificata da Autorità di Bacino, 2007

Tabella 4: Matrice per la definizione delle classi di pericolosità in funzione della velocità e della frequenza del fenomeno

Velocità	Pericolosità			
3	P4	P4	P3	Non definita
2	P3	P3	P2	
1	P2	P1	P1	
Frequenza probabile (anni)	Alta 1 – 30	Media 30 – 100	Bassa 100 – 300	> 300

Modificata da Autorità di Bacino, 2007

Di seguito vengono elencati i criteri con i quali sono state ridefinite le aree a rischio idrogeologico.

La perimetrazione delle aree di espansione e dalle altezze di deposito dei 12 bacini analizzati è stata realizzata, quando possibile, inserendo direttamente nelle matrici del protocollo BUWAL modificato, i valori rilevati immediatamente dopo l'evento del 2003 (ultimo evento verificatosi nell'area d'indagine caratterizzato da tempi di ritorno di 500-1000 anni).

In tutti quei bacini nei quali non si sono eseguiti rilevamenti post evento, le aree di espansione e le altezze di deposito sono state desunte integrando i dati delle precedenti perimetrazioni con i risultati delle simulazioni.

Nei bacini nei quali si sono realizzate, successivamente all'alluvione del 2003, opere di mitigazione del rischio, le perimetrazioni e le altezze di deposito sono state ridefinite integrando i dati a disposizione con i risultati delle simulazioni che tenevano conto delle opere. A valle delle opere di mitigazione nelle quali le simulazioni non evidenziassero fuoriuscite di materiale si è operata una revisione dei livelli di pericolosità diminuendo di almeno una classe il valore precedentemente definito come ad esempio nel caso del bacino Malborghetto centro (Figura 2).

CONCLUSIONI

Il protocollo adottato per la stesura delle carte di pericolosità è relativamente oggettivo

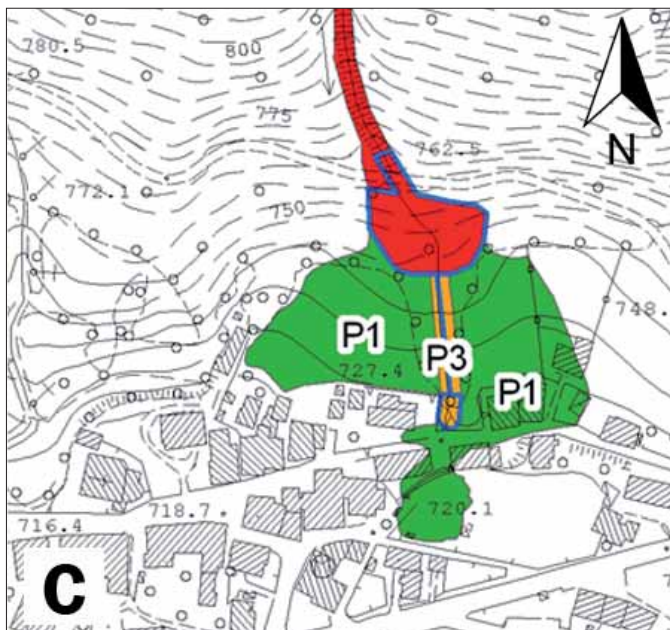
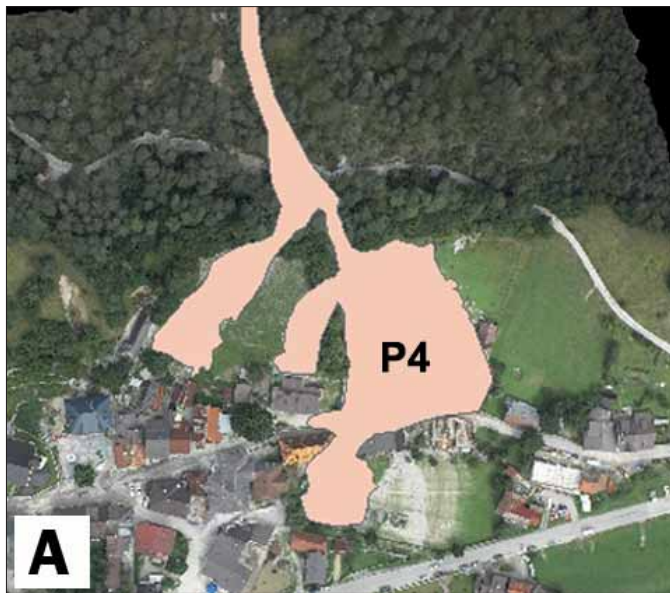


Figura 2 – Areali di pericolosità per il bacino Malborghetto centro: A) Areali perimetrati dopo l'evento alluvionale del 2003, B) Simulazione di evento, C) Nuova perimetrazione di rischio.

e ovunque adottabile. Nel caso delle colate di detrito tuttavia necessita di parametri di base non sempre disponibili: in tali casi l'approccio attraverso una modellazione matematica che consenta di simulare diversi scenari, sia in termini di perimetrazione sia in termini di volumi e altezze dei depositi, permette di ottenere i contenuti delle carte di pericolosità valutando anche la risposta del bacino alle opere di difesa. La modellazione di scenari plausibili diventa così uno strumento propedeutico allo sviluppo degli strumenti di pianificazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AUTORITÀ DI BACINO DEI FIUMI DELL'ALTO ADRIATICO (2007). *Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione*; variante 1, adottato con delibera del comitato istituzionale n. 4 del 19 giugno 2007.

BONIELLO M. A., CALLIGARIS C., LAPASIN R., ZINI L. (2010). *Rheological investigation and simulation of a debris-flow event in the Fella watershed*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10.1-9.

BORGA M., DALLA FONTANA G., VEZZANI C. (2005). *Regional Rainfall Depth-Duration-Frequency Equations for An Alpine Region*. Natural Hazards, 36, 221-235.

BORGA M., BOSCOLO P., ZANON F. AND SANGATI M. (2007). *Hydrometeorological Analysis of the 29 August 2003 Flash Flood in Theeastern Italian Alps*. Journal Of Hydrometeorology, pp.1049-1067.

BUWAL (BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT), BWW (BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT), BRP (BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG) (1997). *Berücksichtigung von Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten*. Bern, BUWAL, BWW, BRP: 42 S.

CALLIGARIS C., LAPASIN R., ZINI L. (2010). *Caratterizzazione reologica e modellazione di colate detritiche nel bacino idrografico del Fella*, in proceedings of Xi Convegno Nazionale di Reologia, pp.165-170.

CALLIGARIS C., CUCCHI F., NICOLA G., ZINI L., KRANITZ F., MANCA P. (2009). *Modellazione della colata detritica del Rio Ruscis (Val Pontebbana)*, Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia. Vol.4. pp.25-29.

CALLIGARIS C., BONIELLO M.A., KRANITZ F., MANCA P. AND ZINI L. (2009). *Areas Subjectet to Debris Flow Phenomena in Friuli Venezia Giulia Alps*. In Proceedings ff: 6th Euregeo (Munich, Baviera, Germany, 9-12 June 2009). Vol. 1, pp. 37-40.

CALLIGARIS C., BONIELLO M. A., ZINI L. (2008). *Debris flow modelling in Julian Alps using FLO-2D*. In: MONITORING, SIMULATION, PREVENTION AND REMEDIATION OF DENSE AND DEBRIS FLOWS. Edited by: LORENZINI, G., BREBBIA, C. A., AND EMMANOULOUDIS, D. E., Southampton. WIT Press. 60. 81-88.

CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996). *Landslide types and processes*. In: TURNER, A.K. AND SCHUSTER, R.L. (eds.). *Landslides-Investigation and Mitigation*. Washington D.C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247. pp. 36-75.

HEINIMANN H.R., HOLTENSTEIN K., KIENHOLZ H., KRUMMENHACHER B., MANI P. (1998). *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Umwelt-Materialien. 85, Naturgefahren, BUWAL, Bern. 248.

MARCHI L. (2005). *Il trasporto solido di fondo e le colate detritiche: fenomenologia ed effetti sull'assetto dei corsi d'acqua a forte pendenza*. Pubblicazione del corso di Cultura in ecologia, atti del 41° Corso, Università di Padova, pp. 126-139.

NORBIATO, D., BORGA, M., SANGATI, M., ZANON, F. (2007). *Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood*. J. Hydrol., 345, pp. 149-166.

O'BRIEN, J. S. AND JULIEN, P. Y. (1985). *Physical process of hyperconcentrated sediment flows*. In: *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on the Delineation of Landslides, Floods, and Debris Flow*. 260-279.

O'BRIEN J.S., JULIEN P.Y. (1988). *Laboratory Analysis of Mudflow Properties*. J. Hydraul. Eng. 114. 877-887.

SLAYMAKER, O. (1988). *The Distinctive Attributes Of Debris Torrents*. Hydrol. Sci. 33. 567-573.

SOSIO, R., CROSTA, G. B., FRATTINI, P., AND VALBUZZI, E. (2006). *Caratterizzazione reologica e modellazione numerica di un debris flow in ambiente alpino*. Giornale di Geologia Applicata. 3. 263-268.

TECCA P.R., ARMENTO C., GENEVOIS R. (2006). *Debris Flow Hazard and Mitigation Works in Fiammes Slope (Dolomites, Italy)*. In: *Monitoring, Simulation, Prevention And Remediation Of Dense And Debris Flows*. Vol. 1, pp. 15-25.

TROPEANO, D., L. TURCONI, AND S. SANNA (2004). *Debris Flows Triggered by the 29 August 2003 Cloudburst in Val Canale, Eastern Italian Alps*. Proc. Int. Symp. Interpraevent 2004. Riva del Garda, Italy. 121-132.

ZANON F. (2010). *Radar Hydrology and Flash Flood Event Analysis*. Tesi di dottorato inedita - Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali (Tesaf) Ciclo XXII, pp. 180.

Monitoraggio e modellistica dell'innesco di frane superficiali su versanti vegetati in Toscana

ANDREA DANI
DEISTAF, Università degli Studi di Firenze
e-mail: andrea.dani@unifi.it

FEDERICO PRETI
DEISTAF, Università degli Studi di Firenze
e-mail: federico.preti@unifi.it

ABSTRACT

La stabilità di versante è molto importante per la sicurezza del territorio, in special modo ove siano presenti abitazioni, aree artigianali ed infrastrutture e la manutenzione del territorio (ad esempio opere di sistemazione e gestione della vegetazione) può concorrere a migliorarla.

Molti versanti naturali a maggiore pendenza sono, inoltre, spesso coperti da vegetazione arborea, arbustiva ed erbacea che fornisce una maggiore stabilità e protezione idrogeologica riconosciuta sia dal punto di vista tecnico sia per legge (foreste di protezione).

Alla fine del 2009 nelle aree montane e collinari del nord Toscana si è verificato un evento idrologico insolito: dopo abbondanti nevicate, avvenute tra il 18 ed il 19 dicembre (con temperature molto al di sotto delle medie stagionali), anche in aree di bassa collina e pianura, si sono verificate intense precipitazioni piovose nel periodo di Natale, unite ad un repentino rialzo della temperatura. La pioggia caduta in tutta l'area non è caratterizzata da un tempo di ritorno significativo, ma ha provocato il discioglimento della maggior parte delle nevi ancora presenti.

La combinazione di questi 2 fenomeni non è comune nel centro Italia ed ha causato dissesti idraulici, specialmente lungo il fiume Serchio, ed oltre 800 dissesti di versante come frane superficiali, debris-flows e ribaltamenti localizzati di alberi nel nord Appennino toscano. Lo studio del contributo della vegetazione al contrasto al dissesto appare quindi di notevole importanza.

Lo scopo della presente ricerca è l'applicazione di modelli idrologici e di stabilità, tenendo conto di caratteristiche geo-morfologiche, idrologiche e vegetazionali (epigee ed ipogee), relativamente a 23 casi di frana superficiale su versante vegetato avvenuti durante l'evento sopra citato e di 2 altri riguardanti frane più recenti avvenute vicino a Lucca (giugno 2010).

Sono state quindi indagate le soglie pluviometriche di innesco, discusse in funzione dell'effetto della vegetazione (rinforzo radicale, sovraccarico ecc.) e della gestione forestale, l'effetto morfologico di concen-

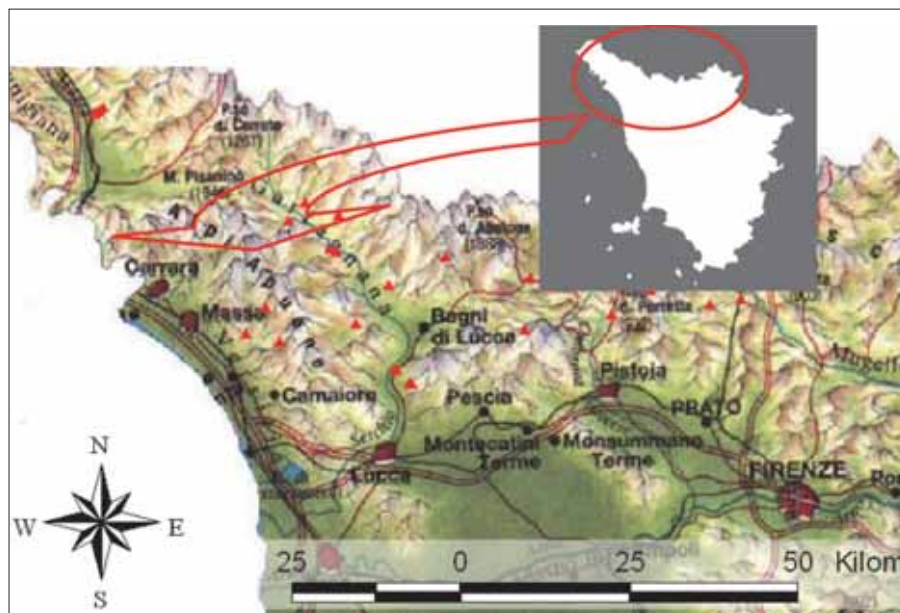


Figura 1: Localizzazione (in rosso) delle 30 frane analizzate

trazione del deflusso e le interazioni con le infrastrutture.

MATERIALI E METODI

Il rilievo delle 25 frane (Fig. 1) è stato condotto mediante il rilievo diretto dei seguenti parametri: planimetria, pendenze massime, medie, localizzate, profondità del piano di scorrimento, emergenze idriche, granulometria e presenza di rocce dello spessore interessato, misure scissometriche e picnometriche, litologia affiorante, distribuzione della copertura vegetale (specie, portamento, trattamento e governo selvicolturale), misure fotogrammetriche di apparati radicali sulla nicchia di distacco (necessarie per la stima della coesione vegetale C_v).

Le analisi di stabilità, effettuate mediante il modello del pendio indefinito per tutti i versanti oggetto di indagine (Fig. 2, 3, 4 e 5), sono state effettuate utilizzando il database rilevato in campo sintetizzato con i seguenti parametri

medi con coefficiente di variazione C.V.: coesione del suolo $c' = 0$ kPa (C.V.=0), angolo di attrito interno efficace $\phi' = 29.96^\circ$ (C.V.=0.192), peso specifico del terreno saturo $\gamma_{sat} = 2.2$ kN/m³, peso specifico del terreno sommerso $\gamma = 1.2$ kN/m³ (porosità $\eta = 0.35$), angolo del pendio $\beta_s = 36.80^\circ$ (C.V.=0.218), coesione radicale C_v a 1 m di profondità = 3.52 kPa (C.V.=1.159), profondità media di radicazione $b = 0.83$ m (C.V.=0.958), resistenza unitaria a trazione del materiale radice $Tr(1) = 41$ MPa.

La curva segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSP) relative a stazioni pluviometriche rappresentative nelle diverse aree di rilievo è data dall'equazione:

$$h = a'R_T^m dr^n \quad (1)$$

dove h = altezza di pioggia (mm), R_T = tempo di ritorno (anni), dr = durata della pioggia (ore) (Preti *et al.*, 1996; Regione Toscana, 2007), con i seguenti valori dei parametri:

Area	PRATESE	MEDIAVALLE	VERSILIA	PISTOIESE	LUNIGIANA
Stazione	TOS01001151	TOS02000299	TOS02000329	TOS02000431	TOS02000203
Comune	Cantagallo	Galliciano	Palagnana	S. Marcello Pistoiese	Villacollemarina
a'	24.303	29.05	31.168	24.303	40.623
m	0.434	0.441	0.419	0.434	0.368
n	0.164	0.192	0.196	0.164	0.186

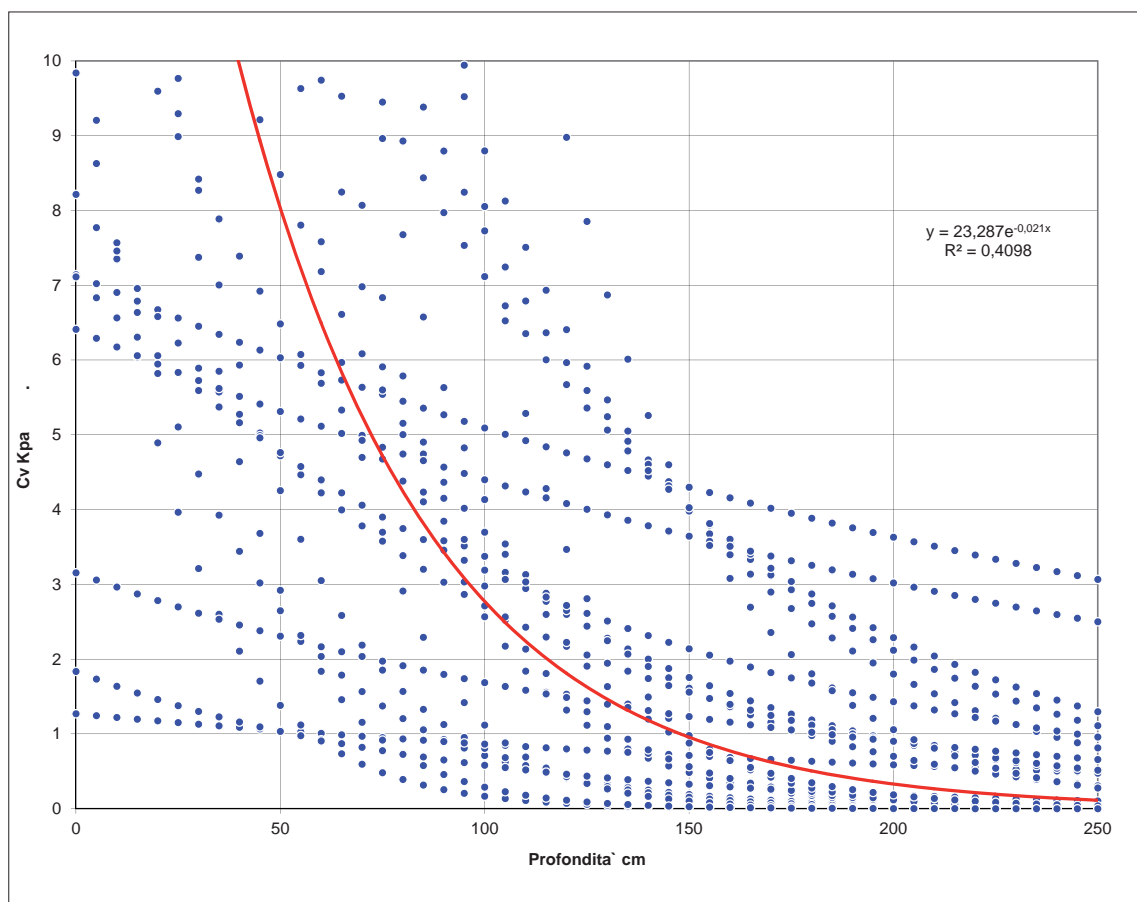


Figura 2 – Coesione radicale alle varie profondità (dati stimati con metodologia indiretta).

Per l'analisi della stabilità di versante di pendii vegetati, è stato quantificato il rinforzo radicale (incremento di resistenza al taglio o coesione addizionale basale C_v).

Questa è proporzionale al Rapporto di Area Radicata (RAR) ed alla resistenza a trazione $Tr(d)$ del materiale radice (dipendente dal suo diametro d).

Il primo parametro è stimato a livello di comunità forestale come funzione di parametri idrologici, pedologici e dendrometrici, mentre il secondo dipende dalla specie considerata.

Il valore di Tr , nel caso di radici morte a seguito di abbattimenti o di morte della pianta, è stato ottenuto da misure sperimentali, per stimare la riduzione dei valori in funzione degli anni di degradazione di Tr (Preti *et al.*, 2010).

La biomassa del soprassuolo è stata valutata in base ai rilievi effettuati in campo, ma risulta praticamente irrilevante ai fini del calcolo del fattore di stabilità F_s (Preti, 2006) in considerazione degli spessori di suolo interessati.

La stabilità di versante è stata quindi valutata utilizzando una procedura automatica per il calcolo del tempo di ritorno R_T associato all'evento pluviometrico che, in condizioni di saturazione, porta ad avere il valore critico del fattore di stabilità $F_s = 1$, espresso come di seguito (modello del pendio indefinito, (Preti *et al.*, 2009):

$$F_s = \frac{c' + K \cdot Tr_m \cdot \frac{Ar_0}{Ars} \cdot e^{-\frac{1}{b}z}}{\left[\gamma_{sat} \cdot \frac{Fc(a' \cdot R_T^m \cdot dr^n)}{\eta} \cdot \cos \beta_s + W_v \right] \cdot \sin \beta_s} + \frac{\gamma \cdot \frac{Fc(a' \cdot R_T^m \cdot dr^n)}{\eta} \cdot \cos \beta_s + W_v}{\gamma_{sat} \cdot \frac{Fc(a' \cdot R_T^m \cdot dr^n)}{\eta} \cdot \cos \beta_s + W_v} \cdot \frac{\tan \phi'}{\tan \beta_s} \quad (2a)$$

$$F_s = \frac{\gamma' \cdot \tan(\phi)}{\gamma_{sat} \cdot \tan(\beta)} \quad (2b)$$

dove:

- c' = coesione del terreno [kPa]
- β_s = angolo inclinazione del pendio
- z = profondità critica di scorrimento [m]
- ϕ' = angolo di attrito interno del terreno
- γ' = peso specifico del terreno sommerso [kN/m³] = $\gamma_{sat} - \gamma_w$ (peso specifico dell'acqua)
- γ_{sat} = peso specifico del terreno saturo [kN/m³]
- W_v = sovraccarico vegetazionale [kPa]
- dr = durata di pioggia [h]
- a', m, n = parametri della curva di durata
- Fc = vedere Eq. (8)

Considerando la completa saturazione del terreno e la presenza di vegetazione e integrando la LSPP si utilizza l'Eq. (2), mentre in assenza di vegetazione, si ricorre alla Eq. (2b).

Nell'Equazione (2a) la coesione radicale in funzione della profondità C_v [kPa] è espressa come:

$$C_v(z) = K \cdot Tr_m RAR(z) = K \cdot Tr_m (RAR_0) e^{-\frac{1}{b}z} \quad (3)$$

dove:

$K = k' k''$ coefficiente analitico od empirico: il modello analitico (Wu, 1976; Waldron,

1977) stima un coefficiente $k' \sim 1.2$ corretto mediante un coefficiente empirico $k'' \sim 0.39$ (Preti, 2006; Schwarz *et al.*, 2009), per evitare la sovrastima dovuta alle ipotesi semplicistiche di uguaglianza fra le dimensioni di tutte le radici e di simultaneità della loro rottura; $RAR_0 = RAR(0)$ è il rapporto di area radicata tra l'area $Ar(0)$ delle radici alla profondità $z=0$ e l'area del suolo radicato Ars : per applicazioni tecniche si può utilizzare $RAR_0 \sim G/10.000$ ove G è l'area basimetrica per ettaro [m²/ha] (Dani A., Preti F., 2007, Schmidt K.M. *et al.*, 2001; Waldron L.J. & Dakessian S., 1981).

Tr_m = resistenza a trazione del materiale radice, considerando il valore medio per i differenti diametri delle radici d ; per ottenere il valore Tr_m , deve essere considerata la funzione $Tr = Tr(d)$ espressa tipicamente con una legge di potenza del tipo:

$$Tr = \alpha d^{-1\beta} = Tr_1^{-1\beta} \quad (4)$$

Per l'applicazione di modelli di coesione laterale del terreno si utilizzano, oltre la re-

sistenza a trazione unitaria, il modulo di elasticità E ; entrambe decrementano in maniera lineare nel tempo di degradazione e si può considerare, per applicazioni tecniche:

$$Tr = (\alpha_0 DY + q_0) d^{-1\beta} \quad (5)$$

$$E = (\alpha_1 DY + q_1) d^{-l} \quad (6)$$

dove DY è il tempo di degradazione (anni), α e q sono costanti e $-\beta$ è il tasso di decremento col diametro (resistenza unitaria minore per radici più grandi).

In una delle 25 frane, in accordo con Ziemer, 1981 e Amman *et al.*, 2009, la coesione radicale decrescente (negli anni) è stata considerata proporzionale alla riduzione della resistenza unitaria a trazione ridotta al 10% per la morte del soprassuolo (conifereta abbattuta 9 anni prima), come nella Eq. (5), assumendo la costanza della RAR nel tempo, dopo aver verificato che le radici di differenti diametri degradano alla stessa maniera, anche se fattori significativi per le foreste di protezione contro le frane superficiali potrebbero includere anche, ad esempio, la distribuzione della biomassa radicale (Johnson and Wilcock, 2002; Saklas and Sidle, 2004; Preti *et al.*, 2009).

La variazione della densità radicale $Ar(z)$ con la profondità può essere modellizzata come una funzione esponenziale negativa con 2 parametri: Ar_0 è l'area delle radici estrapolata alla profondità di 0 cm e b è la profondità media di radicazione dipendente dalle caratteristiche pedologiche ed idrologiche (Preti *et al.*, 2009). Il fattore di scala Ar_0 è specie-specifico e dipende dall'età della pianta, in quanto l'area basimetrica e la biomassa sono diversi per differenti specie e condizioni di accrescimento e si incrementano nel tempo fino allo stadio di maturità.

Il parametro b (profondità media di radicazione) si ottiene (oltre che da misure dirette) anche dal bilancio idrico di lungo periodo del suolo (in *water controlled ecosystem*), effettuato durante la stagione vegetativa, secondo la seguente formula (Preti *et al.*, 2009):

$$b = \frac{\alpha}{\eta(s_{fc} - s_w)(1 - \lambda_0 \alpha / T_p)} \quad (7)$$

dove:

λ_0 = frequenza media di eventi piovosi [n. eventi/giorno] durante la stagione vegetativa
 α = intensità media di precipitazione della pioggia [mm/evento] durante la stagione vegetativa

T_p = evapotraspirazione potenziale [mm/giorno] durante la stagione vegetativa

η = porosità del suolo

S_{fc} e S_w = contenuto di umidità alla capacità di campo e al punto di appassimento, rispet-

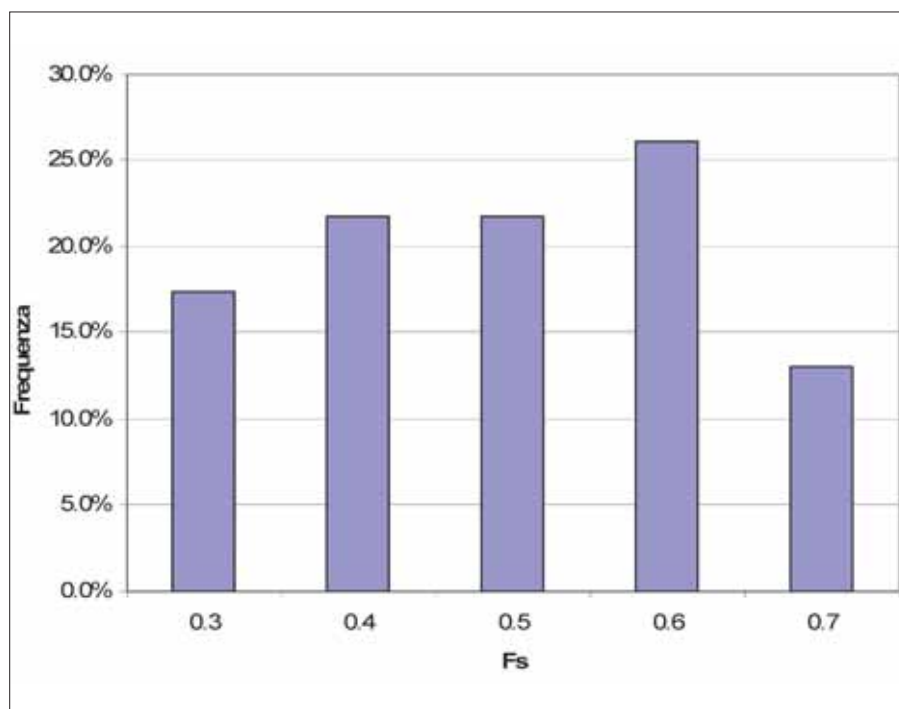


Figura 3 – Frequenza dei valori del Fattore di sicurezza in assenza di vegetazione e in condizioni di saturazione.

tivamente (la loro differenza per la porosità fornisce l'acqua disponibile AWC).

Tenendo in conto l'acqua persa o accumulata (ruscellamento superficiale e percolazione, vie preferenziali di concentrazione, ostacoli, etc.) e della morfologia dell'area drenante a monte della frana, un fattore di concentrazione può essere calcolato come il rapporto (Fig. 5):

$$F_c = \left(\frac{Ad + Al}{Al} \right) (1 - Cd) \quad (8)$$

Al = superficie della frana

Ad = area drenante a monte

Cd = coefficiente di deflusso

Supponendo che la saturazione del terreno proceda dall'alto verso il basso a partire dall'inizio dell'evento di pioggia, l'acqua necessaria alla saturazione fino alla profondità della *superficie di rottura* (z) è espressa in relazione alla porosità del suolo (η) e l'accumulo probabile di pioggia si ricava mediante la seguente formula:

$$h_r = a' R_t^m d^n = \frac{z\eta}{F_c} \quad (9)$$

dalla quale è possibile ricavare il tempo di ritorno in funzione della durata delle piogge. Ulteriori indagini sulla dinamica di infiltrazione e di saturazione dei pendii analizzati sono tutt'ora in corso di svolgimento mediante l'applicazione di modelli idrologici dinamici (QDI, Chirico *et al.* 2011).

RISULTATI E DISCUSSIONE

I parametri del profilo radicato (Ar_0 e b) sono stati misurati e stimati per via indiretta

(analisi di dati termopluviometrici, pedologici e dendrometrici), risultando strettamente correlati, e da questi sono stati calcolate le coesioni ($Cv(z)$) mediante l'Eq.3: questi sono abbastanza variabili da caso a caso (Fig. 3), ma sufficienti affinché il terreno radicato rimanga stabile, almeno per la maggior parte dello spessore esplorato (Fig. 5).

Nei casi analizzati la causa di frana è sempre la saturazione del terreno franato. Considerando che l'infiltrazione e la saturazione procedano dall'alto, i pendii sono risultati instabili per qualunque spessore a meno della componente vegetale (rinforzo radicale del terreno e sovraccarico), come confermato dai valori assunti dall' Eq (2b) mai superiori al valore soglia 1 (Fig. 3)

Si evidenzia in Fig. 4, inoltre, che il fattore di sicurezza cresce (siamo, quindi, in presenza di pendii più stabili) al crescere della profondità misurata in campo (il rapporto tra le tangenti dell'angolo di attrito interno e l'angolo di pendio aumenta); la vegetazione contribuisce alla stabilità in maniera decrescente, ma in assenza di questa la profondità di frana sarebbe stata minore (addirittura instabilità per qualunque spessore saturo).

Da questo si deduce che il principale effetto della vegetazione è rendere stabile quasi completamente il terreno permeato dalle radici, rendendo meno probabili gli eventi che saturano il suolo fino allo spessore minimo affinché il pendio si destabilizzi (conseguendo un maggiore tempo di ritorno della forzante meteorologica).

Nei casi in esame occorsi a seguito dell'evento del dicembre 2009, la pioggia cumulata mediante il fattore di concentrazione risulta essere sempre maggiore della minima neces-

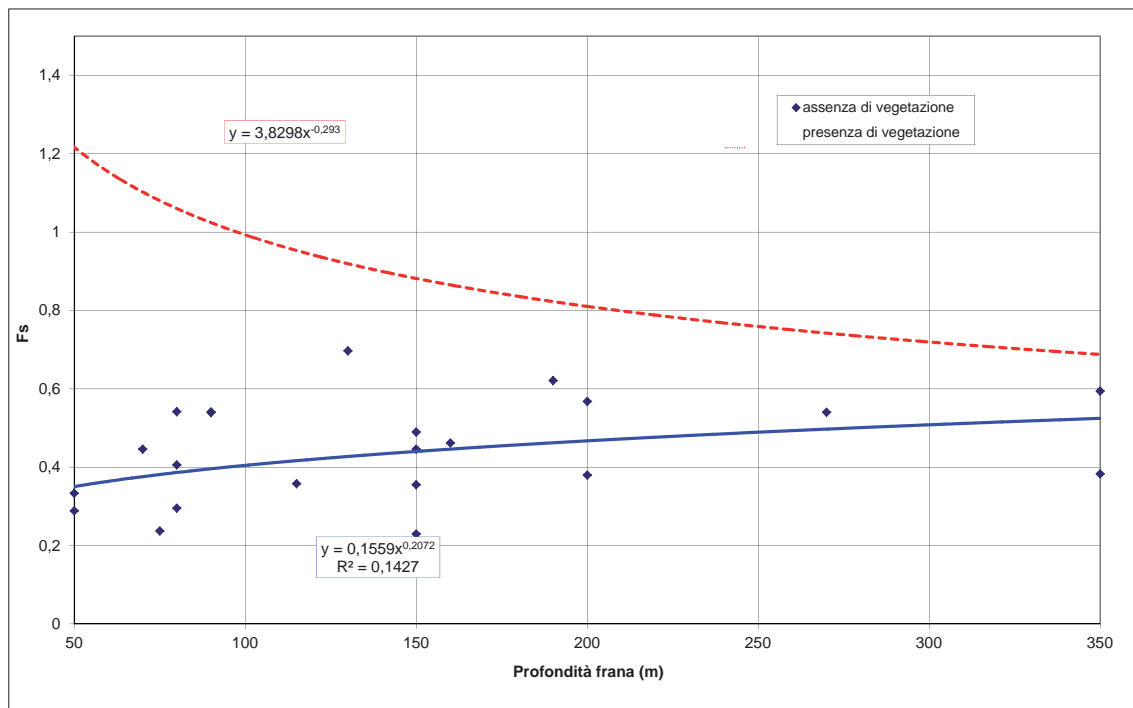


Figura 4 – Fattore di sicurezza in funzione della profondità di frana.

saria alla saturazione dello spessore interessato dal movimento (Fig. 5)

La metodologia proposta ed adottata (schema semplificato di infiltrazione e saturazione, fattore di concentrazione, schema di rinforzo basale del terreno ad opera delle radici, metodo di stima del profilo radicale mediante dati above-ground) ha dato buoni risultati mediante la ricostruzione della profondità critica ($Fs(z)=1$), come mostrato in Fig. 6.

CONCLUSIONI

Fattori importanti per la valutazione del rischio di frana o di erosione in versanti vegetati sono la pendenza e la suscettibilità del materiale alle frane. Pendii con inclinazione maggiore dell'angolo di attrito interno del suolo in questione sono più suscettibili alle frane come conseguenza della riduzione del ruolo protettivo della vegetazione. Nei casi in esame i versanti analizzati possono rimanere stabili se sono coperti con vegetazione pro-

tettiva intatta, ma diverranno instabili se le condizioni risultano deteriorate o a seguito di ampie morie (Selby, 1993; Amman *et al.*, 2009): nel nostro caso, una riduzione della resistenza a trazione T_r delle radici porterebbe a ridotte coesioni che si tradurrebbero in aumento della probabilità di piogge sufficienti alla destabilizzazione dei pendii (spessori instabili minori).

Inoltre la metodologia messa appunto nel presente studio ed i risultati ottenuti

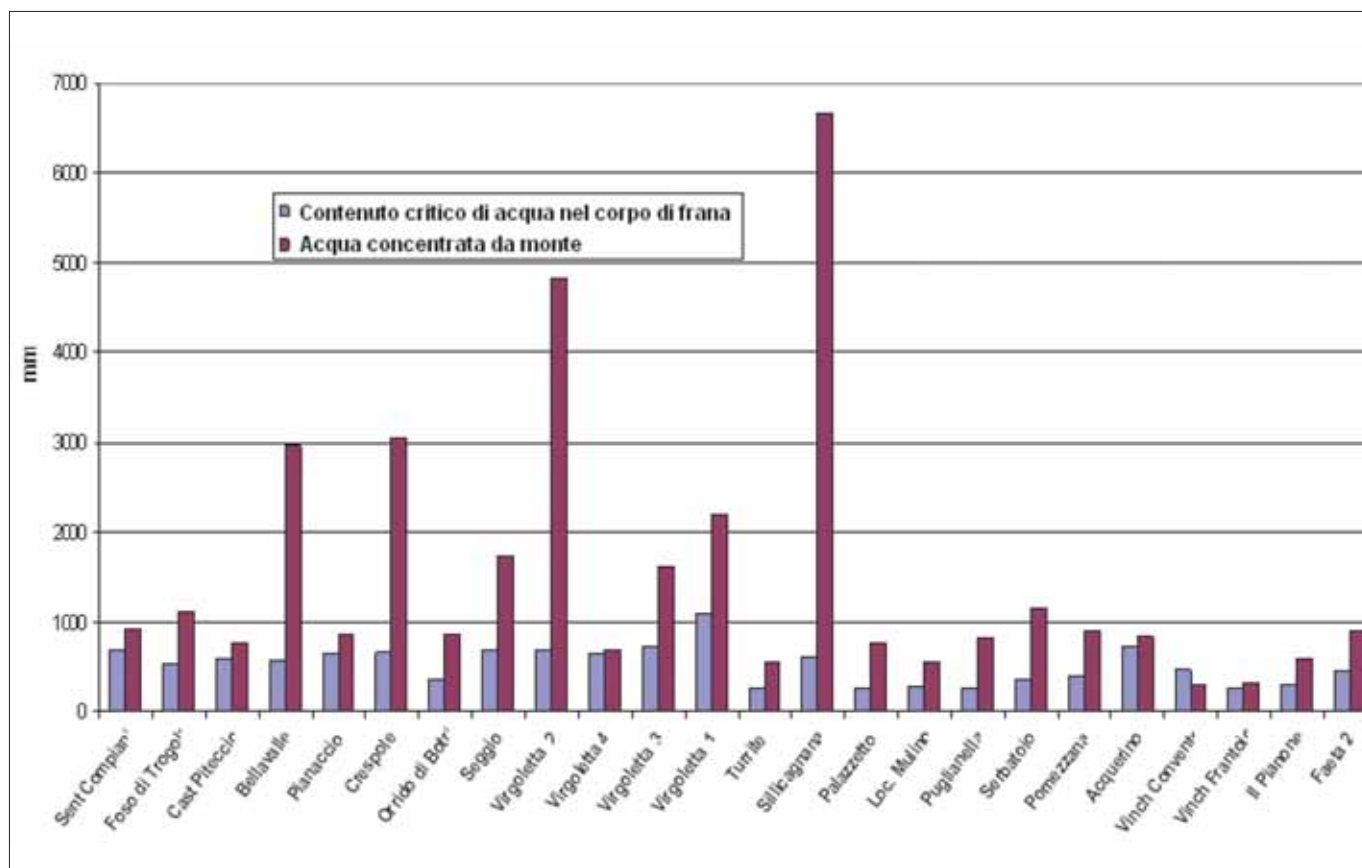


Fig.6. Confronto tra l'acqua minima di saturazione e la cumulata morfologica.

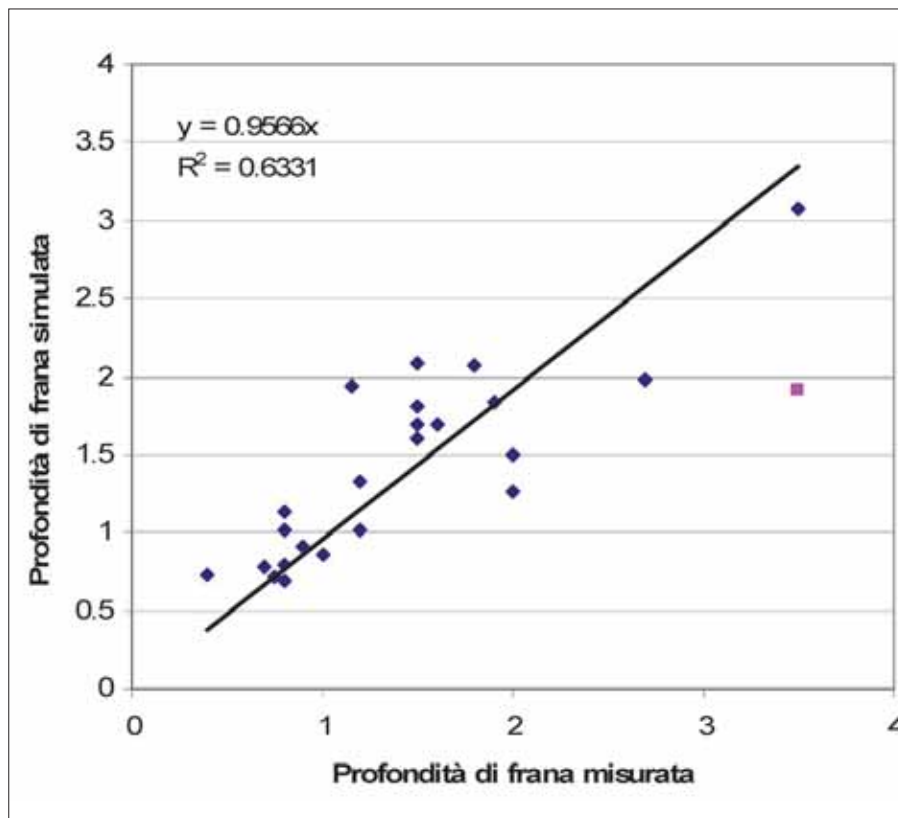


Fig.7. Correlazione tra la profondità del piano di rottura calcolato con il modello e misurato e per le 25 frane superficiali indagate

sembrano essere incoraggianti per riuscire ad accoppiare il modello above *below-ground* presentato in Preti *et al.*, 2009 con i modelli di rinforzo distribuito vegetale basale (Wu and Sidle, 1995; Roering *et al.*, 2003; Catani *et al.*, 2010) e laterale (Pollen and Simon, 2005; Schwarz *et al.*, 2009), anche utilizzando tecnologie di rilievo da remoto (Forzieri *et al.*, 2009).

RINGRAZIAMENTI

L'indagine è stata condotta in collaborazione con la soc.coop. DREAM-Italia come parte dello studio "Dissesto idro-geologico in aree forestali: analisi di casi concreti" finanziato dall' ARSIA – Regione Toscana. I ringraziamenti vanno a Martina Bolognesi e Filippo Nesti (Tesiisti DEISTAF) ed alla Fondazione Cassa di Risparmio di Trento e Rovereto che ha finanziato la borsa di studio di Andrea Dani.

BIBLIOGRAFIA

AMMANN M., A. BÖLL, C. RICKLI, T. SPECK AND O. HOLDENRIEDER (2009), *Significance of tree root decomposition for shallow landslides*, For. Snow Landsc. Res. 82, 1: 79-94 (2009) 79.
A.R.S.I.A., AZIENDA REGIONALE PER LO SVILUPPO E L'INNOVAZIONE NEL SETTORE AGRICOLO FORESTALE(2010), *Dissesto idrogeologico in aree forestali analisi di casi concreti*.
CATANI, F., S. SEGONI, AND G. FALORNI (2010), *An empirical geomorphology-based approach to the spatial prediction of soil thickness at catchment scale*, *Water Resour. Res.*, 46, W05508, doi:10.1029/2008WR007450.

CASAGLI, N. S. DAPPORTO, M. L. IBSEN, V. TOFANI AND P. VANNOCCI (2006), *Analysis of the landslide triggering mechanism during the storm of 20th–21st November 2000*, in Northern Tuscany, *Landslides* (2006) 3: 13–21 DOI: 10.1007/s10346-005-0007-y.
CHIRICO, G.B., DANI, A., PRETI, F. (2011), *Coupling root reinforcement and subsurface flow modeling in shallow landslides triggering assessment*, *World Landslide Forum*, 3-7 October 2011, Rome, accepted.
DANI A, PRETI F. (2007), *Sulla stima del rinforzo radicale del terreno: andamenti temporali ed effetti sulla stabilità abilità di versante con trattamenti selvicolturali*, Quaderni di Idronomia Montana, Vol. 27: 295-309, Nuova Editoriale Bios, in Italian.
FORZIERI, G., GUARNIERI L., VIVONI E.R., CASTELLI F., PRETI F. (2009), *Multiple Attribute Decision-Making for Individual Tree Detection using High-resolution Laser Scanning*, *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2501-2510.
JOHNSON A.C., WILCOCK P. (2002), *Association between cedar decline and hillslope stability in mountainous regions of southeast Alaska*. *Geomorphology* 46: 129-142.
POLLEN N, SIMON A. (2005), *Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on stream bank stability using a fiber bundle model*. *Water Resources Research* 41 : w07025.
PRETI F. (2006), *Stabilità dei versanti vegetati*. Cap. 10, p.p. 137-168 in: Sauli G., Cornelini P., Preti F. (2006), *Manuale 3 Ingegneria Naturalistica Sistemazione dei versanti*. Regione Lazio, http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica/manuale_versanti/Cap_10_10.pdf, in Italian.
PRETI F., E. BRESCI, V. RAVENNA (2001), *Field measurements for hydrologic mapping in old terraced land*, *International Conference on Sustainable Soil Management for Environmental Protection*

– *Soil Physical Aspects*, Florence, Italy, 2-7 July 2001, in Italian.

PRETI F., DANI A., LAIO F. (2009), *Root profile assessment by means of hydrological, pedological and above-ground vegetation information for bio-engineering purposes*. *Ecol. Eng.* 36 (2010), pp. 305-316, doi:10.1016/j.ecoleng.2009.07.010.
PRETI F., DANI A., TOGNI M., ALLIU E. (2010), *Spatio-temporal vegetation effects on slope stability*, *European Geoscience Union*, atti del convegno.
PRETI F., GIADROSSICH F. (2009), *Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish Broom (Spartium junceum L.)*, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 1713-1726, 2009.
PRETI F., SETTESOLDI D., MAZZANTI B., PARIS E. (1996), *Criteri e procedure per la valutazione delle piene nel territorio toscano*. Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Torino, Settembre 1996, CNR-GNDCI, pp. 317-328, in Italian.
REGIONE TOSCANA (2007), *Aggiornamento e sviluppo del sistema di regionalizzazione delle portate di piena in Toscana – Alto*, http://www.rete.toscana.it/sett/pta/suolo/difesa_suolo/alto/index.5htm, 2007, in Italian.
ROERING J.J., SCHMIDT K.M., STOCK J.D., DIETRICH W.E., MONTGOMERY D.R. (2003), *Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range*. *Can Geotech J* 40:237-253.
SAKLAS, M.E., SIDLE R.C. (2004), *A spatial and temporal model of root cohesion in forest soils*. *Can. J. For. Res.* 34, 4: 950–958.
SCHWARZ, M., PRETI F., GIADROSSICH F., LEHMANN P., OR D. (2009), *Quantifying the role of vegetation in slope stability: A case study in Tuscany (Italy)*. *Ecol. Eng.* Vol. 36, Issue 3, March 2010, pp. 285-291, doi:10.1016/j.ecoleng.2009.06.014.
SCHMIDT K.M., ROERING J.J., STOCK J.D., DIETRICH W.E., MONTGOMERY D.R., SCHAUB T. (2001), *The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range*. *Can. Geotech. J.* 38: 995–1024.
SELBY M.J. (1993), *Hillslope Materials and Processes*. Second Edition. Oxford, Oxford University Press. 451 S.
SIDLE R. C. (1992), *A Theoretical Model of the Effects of Timber Harvesting on Slope Stability*, *Water Resour. Res.*, 28(7), 1897-1910, doi:10.1029/92WR00804.
WALDRON L.J. (1977), *The shear stress resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil*. *Soil Science Society of America Proceedings*, 41, 843-849.
WALDRON L.J. & DAKESSIAN S. (1981), *Soil reinforcement by roots: calculation of increased soil shear resistance from root properties*. *Soil Sci.*, 132:427-435.
WU T.H. (1976), *Investigation on landslides on Prince of Wales Island. Alaska Geotech. Rpt. No 5, Dpt. Of Civil Eng., Ohio State Univ., Columbus, USA*
WU W. AND SIDLE R.C.A. (1995), *A distributed slope stability model for steep forested basins*. *Water Resources Research* 31 (8): 2097-2110.
ZIEMER, R.R. (1981), *Roots and the stability of forested slopes. Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*. IAHS Publ. No. 132: 343-361.
ZIEMER R.R., LEWIS J., RICE R.M., LISLE T.E. (1991), *Modeling the cumulative watershed effects of forest management strategies*. *Journal of Environmental Quality* 20: 36-42.

Stato dell'arte della dendrocronologia applicata ai movimenti di versante

ROSANNA FANTUCCI
Geologi Associati Fantucci e Stocchi
e-mail: fantuccir@libero.it

La dendrocronologia è la scienza che si occupa dell'analisi degli anelli annuali di accrescimento delle piante e viene applicata in numerosi settori: archeologico, forestale, climatologico, ecologico e geologico. I principi su cui si basa sono i seguenti: a) possono essere esaminate solo le piante che producono ogni anno un anello distinto, dove è presente una stagione di accrescimento vegetativo ed una stagione di riposo (in genere invernale); b) principio dell'uniformitarismo (i processi naturali che hanno operato nel passato sono gli stessi del presente); c) alberi della stessa specie e nella medesima area geografica producono nello stesso intervallo di tempo serie anulari simili in funzione delle condizioni climatiche locali; d) principio del cross – dating: è possibile confrontare le sequenze anulari di alberi vissuti nella stessa area geografica e nello stesso intervallo di tempo. In base a questo principio si sono potute ricostruire cronologie molto lunghe (diverse migliaia di anni) in più parti del mondo. Alestalo (1971) fu il primo ad utilizzare la metodologia dendrocronologica per lo studio di diversi processi geomorfologici quali i movimenti di versante, i processi vulcanici, littorali, fluviali, glaciali, periglaciali ed eolici, chiamando questo tipo di ricerche "dendrogeomorfologiche". I principi dell'analisi dendrogeomorfologica e le sue principali applicazioni nei movimenti di versante sono stati riassunti più volte a partire dagli anni '80: Shroder (1980), Heikkinen (1994) and Stoffel et al. (2010). Un "evento geomorfologico", quale un dissesto franoso, può avere diversi effetti sulla vegetazione riportati nella Tab.1 (da Fantucci, 1997) e di seguito descritti: **1) Inclinazione del tronco:** le piante mostrano spesso tronchi incli-

MOVIMENTI DI VERSANTE	DISTURBI	REAZIONI
	<u>Inclinazione della pianta</u>	<ul style="list-style-type: none"> — Curvatura del tronco — Produzione di legno di reazione — Anomalie di crescita (riduzioni, aumenti, eccentricità)
	<u>Abrasiono del cambio</u>	<ul style="list-style-type: none"> — Sviluppo di cicatrice
	<u>Seppellimento del tronco</u>	<ul style="list-style-type: none"> — Anomalie di crescita (riduzioni) — Crescita di radici avventizie
	<u>Denudamento delle radici</u>	<ul style="list-style-type: none"> — Anomalie di crescita (riduzioni)
	<u>Rotture nel tronco</u> <u>Rotture nelle radici</u>	<ul style="list-style-type: none"> — Anomalie di crescita (riduzioni) — Sviluppo di cicatrici — Produzione di nuovi rami o radici
	<u>Denudamento di un'area</u>	<ul style="list-style-type: none"> — Successione (ricolonizzazione)

(adattata da Shroder 1978,1980)

Tabella 1 – Elenco disturbi e reazioni sulla vegetazione indotti dai movimenti di versante (Fantucci, 1997)

nati, in modo differente a seconda della localizzazione all'interno del corpo di frana o nelle aree limitrofe. La pianta inclinata tende a recuperare la sua crescita apicale, se non viene ulteriormente disturbata, mostrando una tipica forma ad "S". Nel caso di molteplici movimenti, la pianta può presentare un tronco con inclinazioni complesse. L'inclinazione dell'albero induce una "reazione", con la produzione di un particolare "legno di compressione" sul lato a valle, di colore rossastro nelle conifere (gimnosperme) o "legno di tensione" di colore chiaro nelle latifoglie (angiosperme), sul lato a monte. Le piante inclinate mo-

strano quasi sempre improvvise riduzioni di accrescimento ed in alcuni casi eccentricità nel tronco (Fig.1). **2) Cicatrici per abrasione del cambio:** il cambio è la porzione della pianta, subito al di sotto della corteccia, dove vengono prodotte le cellule di accrescimento annuale; le cicatrici sono frequenti in frane tipo crolli e debris flow e gli alberi tendono a rimarginarle fino al completo ricoprimento con nuovo legno (Fig. 2 – Fantucci R, dati non pubblicati). **3) Il seppellimento parziale del tronco** è frequente nelle zone di accumulo dei corpi di frana; questo provoca riduzioni di accrescimento annuale e formazione di radici



Fig. 1 – Pianta con tronco eccentrico e legno di reazione (conifera)

Fig. 2 – Cicatrici da impatto (Fantucci R)

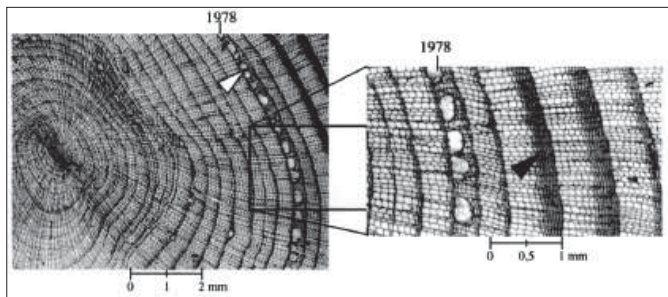


Fig. 3 – Seppellimento del tronco con radici avventizie (foto Schweingruber F)

Fig. 4 – Processo di denudamento e ricolonizzazione (ecesi) (Schweingruber F)

Fig. 5 – Variazione della struttura del legno sulle radici esposte all'aria a causa di processi erosivi (Gartner et al., 2001)

avventizie (radici secondarie provenienti dalla porzione sepolta del tronco); queste ultime possono essere datate fornendo un'età minima dei singoli episodi di "aggradazione" (Fig.3). **4) Denudamento di un'area e ricolonizzazione:** i dissesti franosi provocano spesso il denudamento di una zona e l'accumulo di terreno a valle, che viene successivamente ricoperto dalla vegetazione; questo fenomeno è denominato anche "ecesi" e la dendrocronologia consente di stimare l'età minima di una frana mediante quella delle piante che l'hanno colonizzata, seppur con l'incertezza di qualche anno, necessario alla germinazione (Fig. 4 da Schweingruber F.). **5) Esposizione o danneggiamento degli apparati radicali:** l'esposizione parziale o totale all'aria ed il danneggiamento degli appa-

rati radicali indotti sia dai dissesti franosi o processi erosivi, provocano una rapida variazione della struttura del legno la quale diventa simile a quella di un tronco o ramo (Fig. 5 da Gartner et al., 2001), anche in questo caso l'evento è databile, con tecnologie più avanzate. **6) Eliminazione degli alberi limitrofi:** la morte di numerosi alberi a seguito di un dissesto franoso e la sopravvivenza di poche piante al margine del corpo di frana o sullo stesso deposito possono mostrare un improvviso aumento di crescita su queste ultime per la diminuita competizione e migliori condizioni locali (maggior luce, disponibilità di elementi nutritivi ed acqua). I campionamenti vengono effettuati normalmente con metodi "non distruttivi" prelevando dei campioni di legno denominati "carote", di diametro

di 0,5 cm, tramite il carotatore di Pressler (Fig. 6). Numerosi studi e test effettuati in sito hanno rilevato che la pianta è in grado di cicatrizzare il foro in uno o due anni, pertanto questo tipo di analisi può essere eseguito anche in zone di particolare pregio ambientale quali parchi naturali. I primi studi dedicati all'applicazione della dendrocronologia ai dissesti franosi risalgono agli anni '70 (Terasme, 1975; Orbelli e Gnaccolini, 1972 (primo esempio di studio dendrogeomorfologico in Italia); Shroder, 1978). Negli ultimi decenni l'attenzione degli studiosi è focalizzata prevalentemente su alcuni tipi di frane, quali le **colate di detrito (debris flow)**, particolarmente pericolose e diffuse in tutto il mondo: Clague and Souther 1982; Hupp, 1984; Van Asch and Van Steijn, 1991; Strunk, 1992; Baumann F. and Kaiser K.F. 1999; Santilli and Pelfini 2002; Stefanini M.C. and Ribolini A. 2003; May C.L. and Gresswell R.E. 2004; Stoffel M. et al. 2005; Bollschweiler M. et al. 2008. L'analisi di questo tipo di frane è basata sulla datazione delle cicatrici da impatto, sull'esame delle piante inclinate, con stress di crescita (improvvisi riduzioni, legno di reazione, presenza di dotti resiniferi) come pure sulla datazione delle radici avventizie, legate ai singoli eventi di aggradazione (Fig. 3). In questo genere di ricerche gli obiettivi principali sono quindi quelli della valutazione della frequenza e magnitudo degli eventi, la loro distribuzione spaziale (Fig. 7 da Bollschweiler et al, 2008) ed il rapporto con le precipitazioni; quest'ultimo ancora non molto approfondito. Ulteriori esempi di indagini sui dissesti franosi tipo **colate argillose (mud flow)**



Fig. 6 – Campionamento non distruttivo con carotatore di Pressler

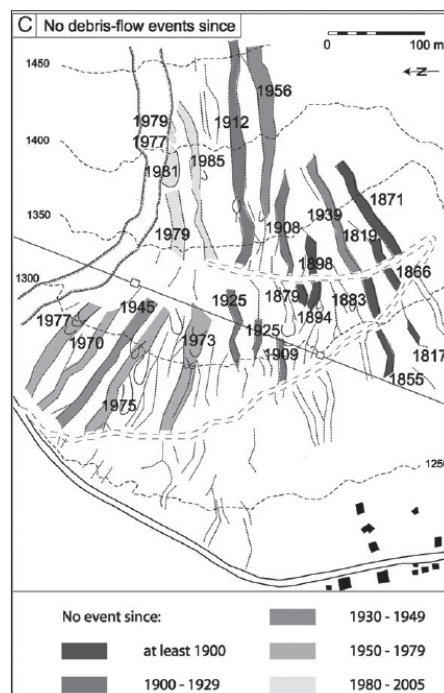


Fig. 7 – Mappa spazio temporale per studio di debris flows (Bollschweiler et al., 2008)

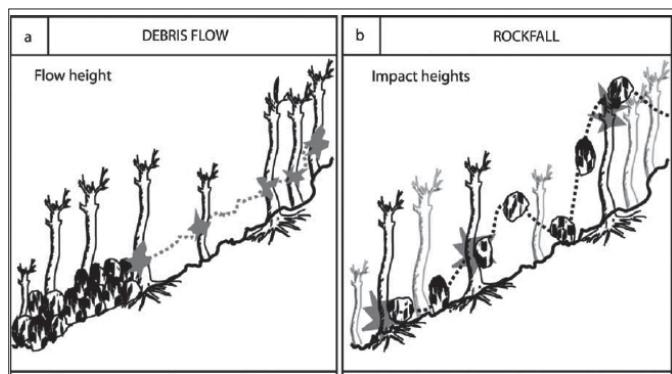


Fig. 8 – Cicatrici da impatto su tronchi causate da colate detritiche (a) e crolli (b) (Perret and Stoffel, 2006)

Fig. 9 – Curve di accrescimento su quercia con riduzioni intense e prolungate (9b), riduzione seguita da un recupero di crescita normale (10a) e pianta di controllo non affetta da stress (4b) (Fantucci and Sorriso Valvo, 1997)

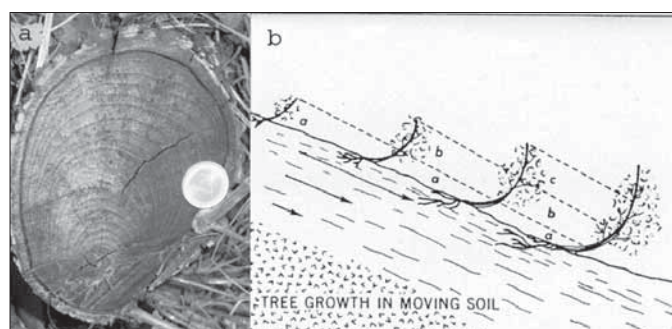
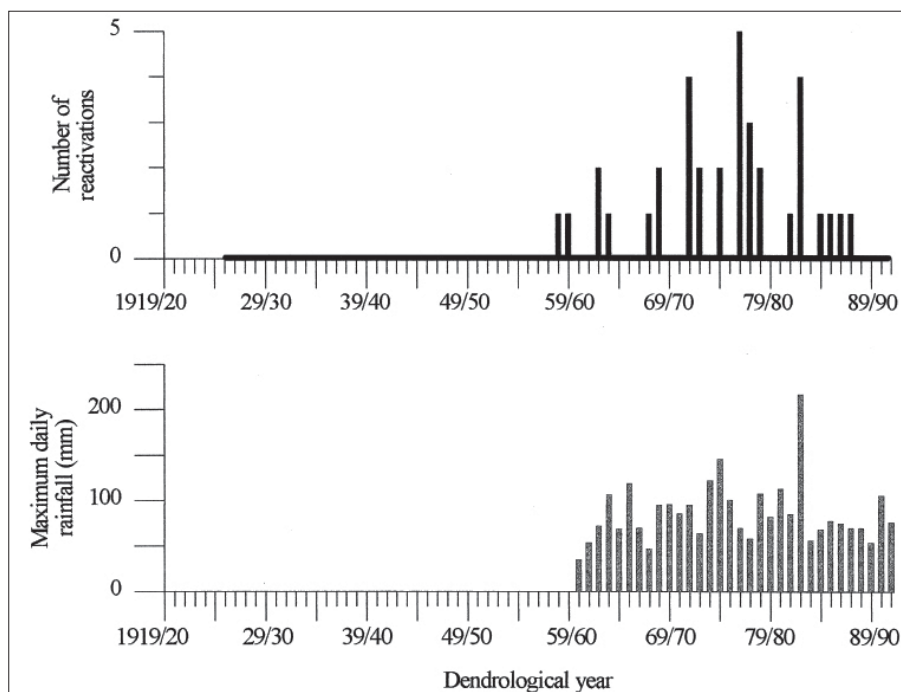
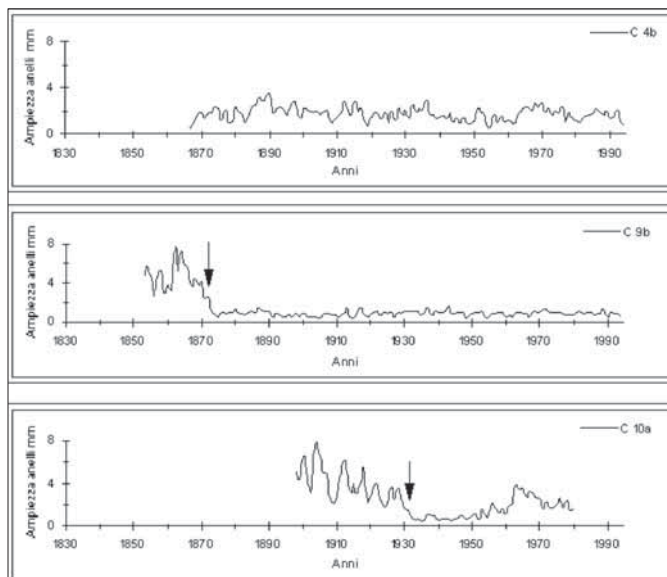


Fig. 10 – Esempio di correlazione tra precipitazioni e riattivazione di frane (Corominas and Moya, 1999)

Fig. 11 (a) Morfologia delle piante in presenza di creeping (Phipps, 1974) e conseguente (b) eccentricità nei tronchi (Fantucci R)

sono quelli di: Lionel and Jakson, 1977; Braam et al., 1987a; Fantucci and Mc Cord, 1995; sulle **colate di terra (earth flow)**: Bovis and Jones, 1992. Un secondo settore molto sviluppato di recente, prevalentemente da parte di ricercatori svizzeri, è quello sulla datazione delle **frane di crollo (rock fall)**. Le frane di crollo provocano cicatrici da impatto sul tronco e rami degli alberi a diverse altezze (Fig. 2 e Fig. 8 da Perret and Stoffel, 2006). I campionamenti

necessitano l'abbattimento degli alberi e la preparazione di sezioni complete dei tronchi per la datazione delle cicatrici le quali possono anche essere state completamente sigillate e quindi nascoste all'interno della pianta. Le prime ricerche in questo campo risalgono agli anni '70 - '80: Moss and Rosenfeld, 1978; Porter and Orombelli, 1980; Bednarz, 1986. Negli ultimi decenni il contributo della dendrocronologia sulle frane di crollo è stato finalizzato alla datazione

degli eventi storici ed alla ricostruzione di lunghe sequenze temporali (Stoffel et al., 2005; Perret et al., 2006; Luckman 2008). La determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale dei crolli e la geometria delle traiettorie in una determinata area (Schneuwly and Stoffel, 2008), sino alla probabilità di impatto dei crolli sulla foresta (Moya et al., 2010), hanno un importante ruolo nelle ricerche attuali e future sulle mappe del rischio (Perret et al., 2006), come pure sul ruolo protettivo della foresta dalle frane di crollo (Ciabocco et al., 2009; Lundström et al, 2009). Altri esempi di dissesti franosi esaminati sono: gli **scorrimenti rotazionali** (Terasme, 1975; Jibson and Keefer, 1988; Begin and Fillion, 1988; Burn and Friele, 1989), gli **scorrimenti traslativi** (Aipassa and Shimizu, 1988; Orombelli e Gnaccolini, 1980), le **deformazioni gravitative profonde** (Fantucci and Sorriso Valvo, 1997) e le **frane complesse** (Stefanini, 2004). Le ricerche dendrocronologiche hanno permesso di definire i periodi di attivazione e/o riattivazione dei dissesti franosi, negli intervalli di tempo esaminabili dalle piante campione, indicando alcune correlazioni anche con i terremoti (Begin and Fillion, 1988; Fantucci and Sorriso Valvo, 1997; Carrara and O'Neill, 2003). Uno dei principali effetti sulla vegetazione esaminata, sopravvissuta ai movimenti del corpo di frana, è quello della riduzione di accrescimento, per intervalli di tempo ed intensità diverse. È fondamentale verificare che le anomalie siano legate al dissesto e non ad altre cause, incluse quelle climatiche; ciò è possibile mediante il confronto degli alberi su frana, con quelli di "controllo" della stessa specie, provenienti da zone limitrofe stabili (Fig. 9 da Fantucci and Sorriso Valvo, 1997). Le datazioni dei momenti di attivazione/riattivazione dei dissesti franosi sono stati da sempre cor-

relati alle precipitazioni, sin nei primi studi; nell'ultimo decennio diversi ricercatori hanno cercato di approfondire questo importante punto (Fig. 10 da Corominas J. and Moya J., 1999), Paolini et al. (2005), Wieczorek et al. (2006), Paolini and Villalba (2010). I lenti movimenti superficiali (**creeping**) coinvolgono la vegetazione arborea, ma in modo diverso. Infatti, in questo caso, le piante vengono continuamente spinte verso valle e di conseguenza i tronchi si incurvano e non riescono a recuperare la loro crescita apicale, con conseguente produzione di una continua eccentricità nel tronco (Fig 11a da Phipps, 1974 – 11b Fantucci R, sezione di olmo – dati inediti). Si segnalano su questo argomento gli studi di Parizek and Woodruff, 1957; Denneler and Schweingruber, 1993.

BIBLIOGRAFIA

- APISSA M., SHIMIZU O. (1988), *Geomorphic process and natural revegetation on landslide scars in Teshio Experimental Forest, Hokkaido University*. Research Bulletins of the College Experiment Forests, 45 (3), 691-716.
- ALESTALO J. (1971), *Dendrochronological interpretation of geomorphic processes*. Fennia, 105, 1-140.
- BAUMANN F., KAISER K.F. (1999), *The Mulfetta debris fan, Eastern Alps: a 500 – years debris flow chronology*. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 31, no. 2, 1999, pp. 128-134.
- BEGIN C., FILION L. (1988), *Age of landslides along the Grande Rivière de la Baleine estuary, eastern coast of Hudson Bay, Québec (Canada)*. Boreas, 17, 289-298.
- BEDNARZ Z. (1986), *An example of the application of the tree-ring chronology of the Dwarf Mountain Pine (Pinus Mugo var Mughus Zenari) for the dating of geomorphological processes in the Tatra Mts.* Dendrochronologia, 4, 75-77.
- BRAAM R.R., WEISS E.E.J., BURROUGHS P.A. (1987a), *Spatial and temporal analysis of mass movements using dendrochronology*. Catena, 14, 573-584.
- BOVIS M.J., JONES P. (1992), *Holocene history of earthflow mass movements in south-central British Columbia: the influence of hydroclimatic changes*. Can. J. Earth Sci., 29, 1746-1755.
- BURN C.R., FRIELE P.A. (1989), *Geomorphology, vegetation succession, soil characteristics and permafrost in retrogressive thaw slumps near Mayo, Yukon Territory*. Arctic, 42, 31-40.
- BOLLSCHWEILER M., STOFFEL M., SCHNEUWLY D.M. (2008), *Dynamics in debris-flow activity on a forested cone – a case study using different dendroecological approaches*. Catena 72: 67-78.
- CARRARA P.E., O'NEILL J.M. (2003), *Tree-ring dated landslide movements and their relationship to seismic events in southwestern Montana, USA*. Quaternary Research, 59: 25-35.
- CIABOCCO G., BOCCIA L., RIPA M. (2009), *Energy dissipation of rockfalls by coppice structures*. Nat Haz Earth Syst Sci 9: 993-1001.
- CLAGUE J.J., SOUTHER J.G. (1982), *The Dusty Creek landslide on Mount Cayley, British Columbia*. Can. J. Earth Sci., 19, 524-539.
- COROMINAS J., MOYA J. (1999), *Reconstructing recent landslides activity in relation to fall in the Lobregat River basin, eastern Pyrenees, Spain*. Geomorphology 30 (1999) 79-93
- DENNELER B., SCHWEINGRUBER F.H. (1993), *Slow mass movement. A dendrogeomorphological study in Gams, Swiss Rhine valley*. Dendrochronologia, 11, 55-67.
- FANTUCCI R., MC CORD A. (1995), *Reconstruction of landslide dynamic with dendrochronological methods*. Dendrochronologia, 13, 33-48.
- FANTUCCI R. (1997), *La dendrogeomorfologia nello studio dei movimenti di versante: alcune recenti applicazioni in Italia*. Geologia Tecnica & Ambientale 2: 21-31
- FANTUCCI R., SORRISO VALVO M. (1997), *Dendrogeomorphological analysis of a landslide near Lago, Calabria (Italy)*.
- GARTNER H., SCHWEINGRUBER F.H., DIKAU R. (2001), *Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots*. Dendrochronologia 19 (1) – 2001: 81–91
- HEIKKINEN O. (1994), *Using dendrochronology for the dating of land surfaces*. In: Beck c. (ed.) *Dating in exposed and surface contexts*. Albuquerque, Unit of New Mexico Press, 213-235.
- HUPP C.R. (1984), *Dendrogeomorphic evidence of debris flow frequency and magnitude at Mount Shasta, California*. Environ. Geol. Water Sci., 6(2), 121-128.
- JIBSON R.W., KEEFER D. (1988), *Landslide triggered by earthquakes in the Central Mississippi valley, Tennessee and Kentucky*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1336-C.
- LIONEL E., JACKSON JR. (1977), *Dating and recurrence frequency of prehistoric mudflows near Big Sur, Monterey County, California*. Jour. Research U.S. Geol. Survey, 5, 1, 17-32.
- LUCKMANN BH. (2008), *Forty years of rockfall accumulation at the mount Wilcox site, Jasper National Park, Canada*. Earth Surf. Process Land. 1: 287-298.
- LUNDSTRÖM T., JONSSON M.J., VOLKWEIN A., STOFFEL M. (2009), *Reactions and energy absorption of trees subject to rockfall: a detailed assessment using a new experimental method*. Tree Physiol. 29: 345-359.
- MAY C.L., GRESSWELL R.E. (2004), *Spatial and temporal patterns of debris - flow deposition in the Oregon Coast Range, USA*. Geomorphology 57 (2004) 135-149.
- MOSS M.R., ROSENFELD C.L. (1978), *Morphology, mass wasting and forest ecology of a post-glacial re-entrant valley in the Niagara escarpment*. Geografiska Annaler, 60A, 161-174.
- MOYA J., COROMINAS J., ARCAS J.P. (2010), *Assessment of the rockfall frequency for hazard analysis at Solà d'Andorra (eastern Pyrenees)*. Tree Rings and Natural Hazards. A state-of-the-art: 161-176
- OROMBELLI G., GNACCOLINI M. (1972), *La dendrochronologia come mezzo per la datazione di frane avvenute nel recente passato*. Boll. Soc. Geol. It., 91, 325-344.
- PAOLINI L., VILLALBA R., GRAU H.R. (2005), *Precipitation variability and landslide occurrence in a subtropical mountain ecosystem of NW Argentina*. Dendrochronologia 22 (2005) 175-180
- PAOLINI L., VILLALBA R. (2010), *Rainfall up, mountain down? Tree Rings and Natural Hazards. A state-of-the-art: 121-127*
- PARIZEK E.J., WOODRUFF J.F. (1957), *Mass wasting and the deformation of trees*. American Journal of Science, 25, 63-70.
- PERRET S., STOFFEL M., KIENHOLZ H. (2006), *Spatial and temporal rock fall activity in a forest stand in the Swiss Prealps – a dendrogeomorphological keys study*. Geomorphology 74 (1-3): 219-231.
- PHIPPS R.L. (1974), *The soil creep-curved tree fallacy*. U.S. Geological Survey Journal of Research 3: 371-377.
- PORTER S.C., OROMBELLI G. (1980), *Catastrophic rockfall of September 12, 1717 on the Italian flank of the Mont Blanc massif*. Z. Geomorph.N.F., vol. 24, 2, 200-218.
- SANTILLI M., PELFINI M. (2002), *Dendrogeomorphology and dating of debris flows in the Valle del Gallo, Central Alps, Italy*. Dendrochronologia 20/3 (2002) 269-284.
- SCHNEUWLY D.M., STOFFEL M. (2008), *Tree ring based reconstruction of the seasonal timing, major events and origin of rockfall on a case-study slope in the Swiss Alps*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 203-211, 2008
- SHRODER J.F. (1978), *Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah*. Quaternary Research, 9, 168-185.
- SHRODER J.F. (1980), *Dendrogeomorphology: review and new techniques in tree-ring dating*. Progress in Physical Geography, 4, 161-185.
- STEFANINI M.C., RIBOLINI A. (2003), *Dendrogeomorphological investigations of debris - flow occurrence in the Maritime Alps (northwestern Italy)*. In: D. Rickenmann and C. Chen, eds., *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*. Millpress, Rotterdam, The Netherlands: 231-242.
- STEFANINI M.C. (2004), *Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology*. Geomorphology 63 (2004) 191 – 202
- STOFFEL M., LIÈVRE I., CONUS D., GRICHTING M.A., RAETZO H., GARTNER H.W., MONBARON M. (2005), *400 Years of debris – flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland*. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 37, (3), 387-395.
- STOFFEL M., BOLLSCHWEILER M., BUTLER D.R., LUCKMAN B. (2010), *Tree Rings and Natural Hazards*. A state-of-the-art. Springer 2010.
- STRUNK H. (1992) *Reconstructing debris flow frequency in the Southern Alps back to AD 1500 using dendrogeomorphological analysis*. Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions (Proceedings of the Chengdu Symposium, July 1992). IAHS Publ. no. 209, 1992.
- TERASME J. (1975), *Dating of landslide in the Ottawa river valley by dendrochronology - a brief comment*. Mass wasting Proceedings, 4th Guelph Symposium on Geomorphology, 153-158.
- VAN ASCH TH. W.J., VAN STEIJN H. (1991), *Temporal patterns of mass movements in the French Alps*. Catena, vol. 18, 515-527.
- WIECZOREK G.F., EATON L.S., YANOSKY T.M., TURNER E.J. (2006), *Hurricane – induced landslide activity on an alluvial fan along Meadow Run, Shenandoah Valley, Virginia (eastern USA)*. Landslides (2006) 3: 95-106.

Proposta di una metodologia di analisi del rischio territoriale

EMANUELE LORET
Dottore di ricerca in Geoinformazione,
consulente Esa-Esrin

FRANCO MEDICI
Professore di Scienza e Tecnologia dei Materiali,
Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali
e Ambiente, Sapienza Università di Roma

CARLO TESTANA
Dottore di ricerca in Ingegneria Edile Architettura

RIASSUNTO

L'obiettivo del lavoro è l'identificazione dei livelli di "rischio territoriale", di tipo ambientale, ottenuti confrontando parametri urbanistici con alcuni parametri geo-morfologici, quali le formazioni geo-litologiche e l'acclività: per raggiungere tale scopo si è presa in esame, come area di studio il bacino del lago di Nemi.

Si è costruito, quindi, un modello di rischio utilizzando un sistema informativo GIS: in tale sistema sono state inserite e geo-referenziate le informazioni desunte da dati satellitari e da diversi livelli cartografici relativi alla struttura geologica e morfologica del territorio in esame. I livelli di rischio vengono restituiti attraverso un indice che registra la vulnerabilità del territorio sulla base valutativa dei fenomeni basati sui connotati geo-morfologici opportunamente corretti tenendo conto di alcune variabili pregresse.

Si è elaborata una "feature class" di rischio dalla quale è stata estratta una "carta di rischio" e si è, poi, confrontato il modello ottenuto con la consistenza edilizia attuale ed infine, in proiezione, si sono va-

lutate le previsioni urbanistiche dei piani regolatori del comune di Nemi e di Genzano. La classificazione dei valori dell'indice in diversi ranges ha permesso di valutare la portata del rischio rispetto alla urbanizzazione del territorio.

PREMESSA

L'azione dell'uomo è molto spesso il primo motore di un evento dannoso: la costruzione di interi paesi sotto versanti a rischio, vedi il recente caso di Messina (1) o di interi quartieri delle città in aree di esondazione, il disboscamento selvaggio di montagne costituiscono tutti comportamenti così comuni che portano a discutere circa l'uso del termine "naturale" spesso attribuito alle calamità, che ormai sempre più spesso colpiscono il nostro territorio.

Il lavoro propone la applicazione di una metodologia di valutazione del "rischio insediativo" (2) collegandosi ad un filone di ricerca (3-6) dei fenomeni di interferenza verso l'integrità eco-sistemica, con particolare attenzione al consumo di suolo conseguente all'espansione territoriale delle aree urbanizzate.

Come zona di studio si è scelto il bacino del lago di Nemi, dove di recente, nell'anno 2008 ed ancora nel 2009, si sono verificati fenomeni di dissesto idrogeologico nella conca del lago causati da disboscamento, dalla pressione urbanistica ed aggravati da incendi verificatesi nella stagione estiva.

L'impatto antropico e una progettazione non attenta ai fattori di rischio amplificano i fenomeni spesso aumentandone la potenza, rompendo in ogni caso equilibri che la natura ha costruito negli anni secondo una sua peculiare diversità verso la quale troppo spesso non vi è quell'attenzione e quella sensibilità capaci di decifrarne codici e segnali: questa continua azione di instabilità va ormai analizzata nel contesto storico-sociale di un paese per studiare un modello di difesa che possa intervenire sul concetto di rischio ambientale, cercando di attenuarlo.

I fattori che intervengono sul "rischio territoriale" connessi al dissesto idrogeologico sono di due tipi: il primo "la pericolosità ambientale" riguarda aspetti di tipo geologico e ambientale, il secondo riguarda, invece, problematiche connesse

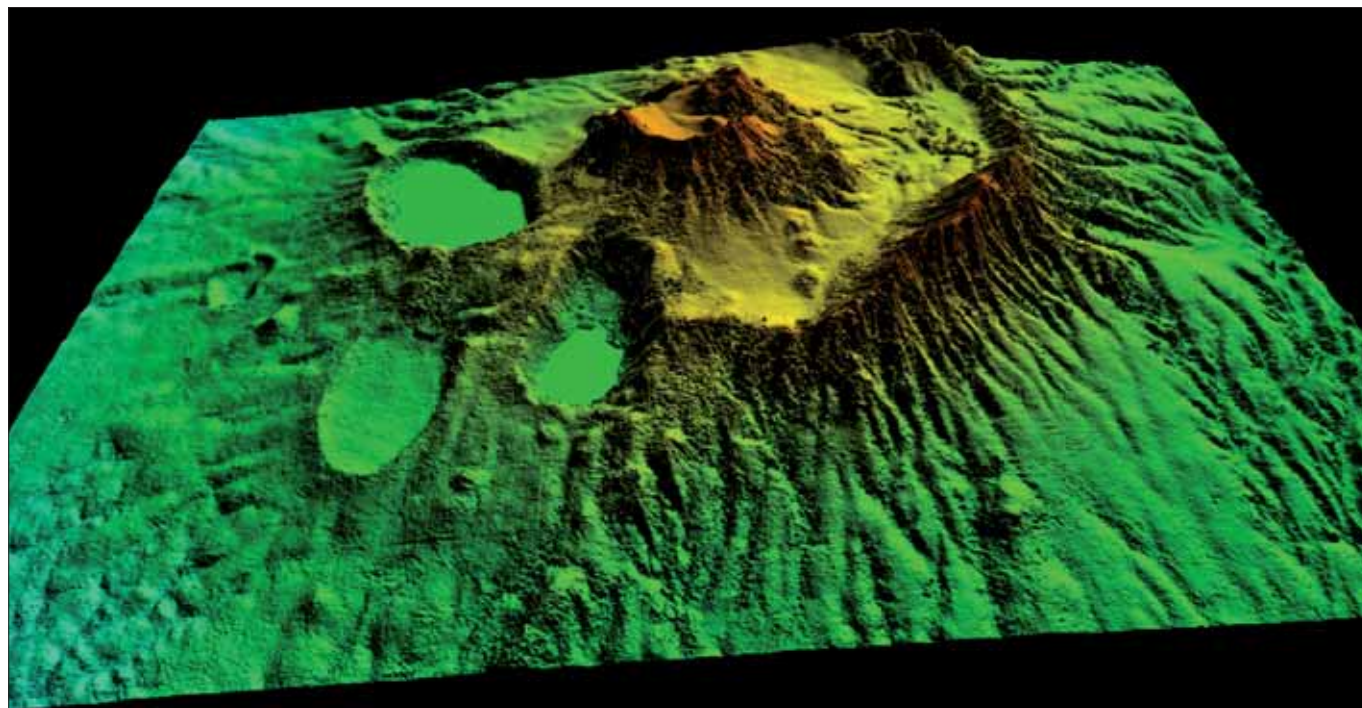


Figura 1: L'area del cratere del lago di Nemi da modello digitale SARDEM (ESA/ESRIN).



Figura 2: a) valutazione del “peso urbanistico”; b) l’area di piazza Cina a Genzano; c) l’area Nemorensis.

Tab. 1 - Pendenze e relative classi (classe Cp).

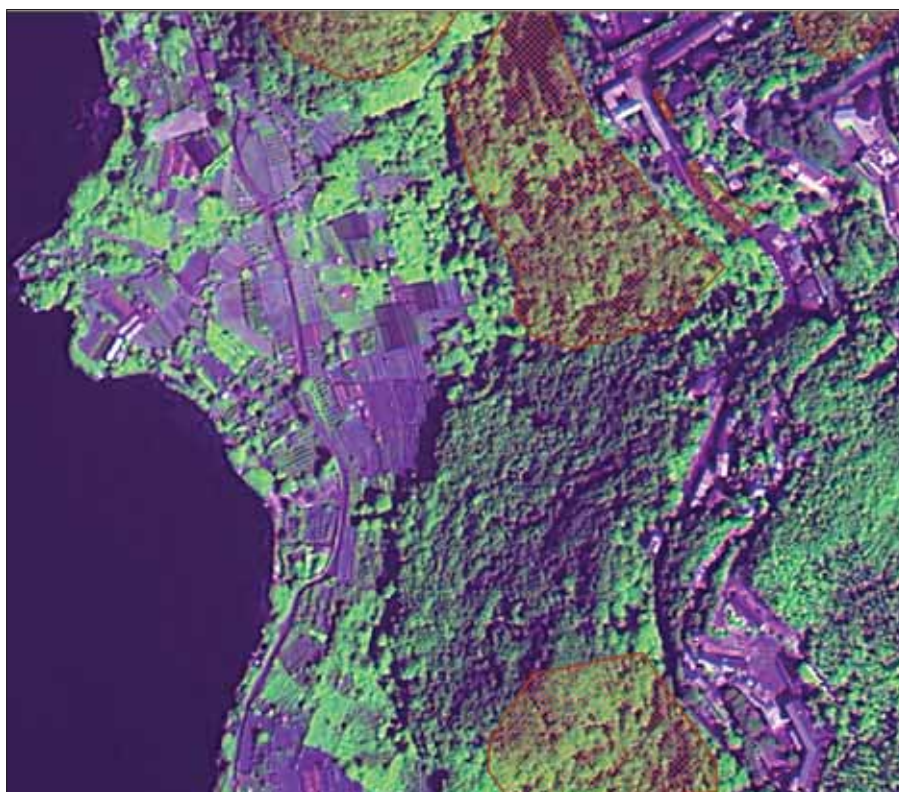
Pendenza %	Classe pendenza
0 - 10	1
11 - 20	2
21 - 30	3
31 - 40	4
40 - oltre	5

Tab. 2 - Principali unità geologiche e classe geo-litologica (classe Cg).

Unità	Classe geo-litologica
Unità idromagmatica di Nemi	1
Lave e piroclastiti	2
Colate piroclastica	3
Coni di scorie postcalderici	4
Alluvioni recenti	5
Detrito	6



Figura 3: Piazza Cina-Cimitero (sopra) e villa delle Querce (sotto). Immagine Kompsat2 ESA/ESRIN, 2008.



con la “vulnerabilità territoriale”, che può essere controllata attraverso la progettazione tecnica e mediante scelte economico - politiche più attente alle problematiche ambientali.

In questo lavoro si è definito un modello matematico che consente di individuare il “rischio territoriale” di tipo ambientale utilizzando come variabili fondamentali l’acclività e la struttura geo-morfologica e come variabili aggiuntive il peso urbanistico (densità edilizia) e l’incidenza di fenomeni di frana storica: le “feature class” individuate sono state, quindi, inserite in un sistema informativo GIS.

Una valutazione immediata del rischio è condotta mettendo a confronto il grado di antropizzazione di un territorio e, quindi, la presenza di manufatti ed edifici, tale sistema consente di verificare le diverse possibilità di “rischio territoriale attuale”. Inserendo nello stesso modello le previsioni di piano regolatore generale (P.R.G.) dei comuni che si affacciano sul lago di Nemi (Nemi e Genzano) è

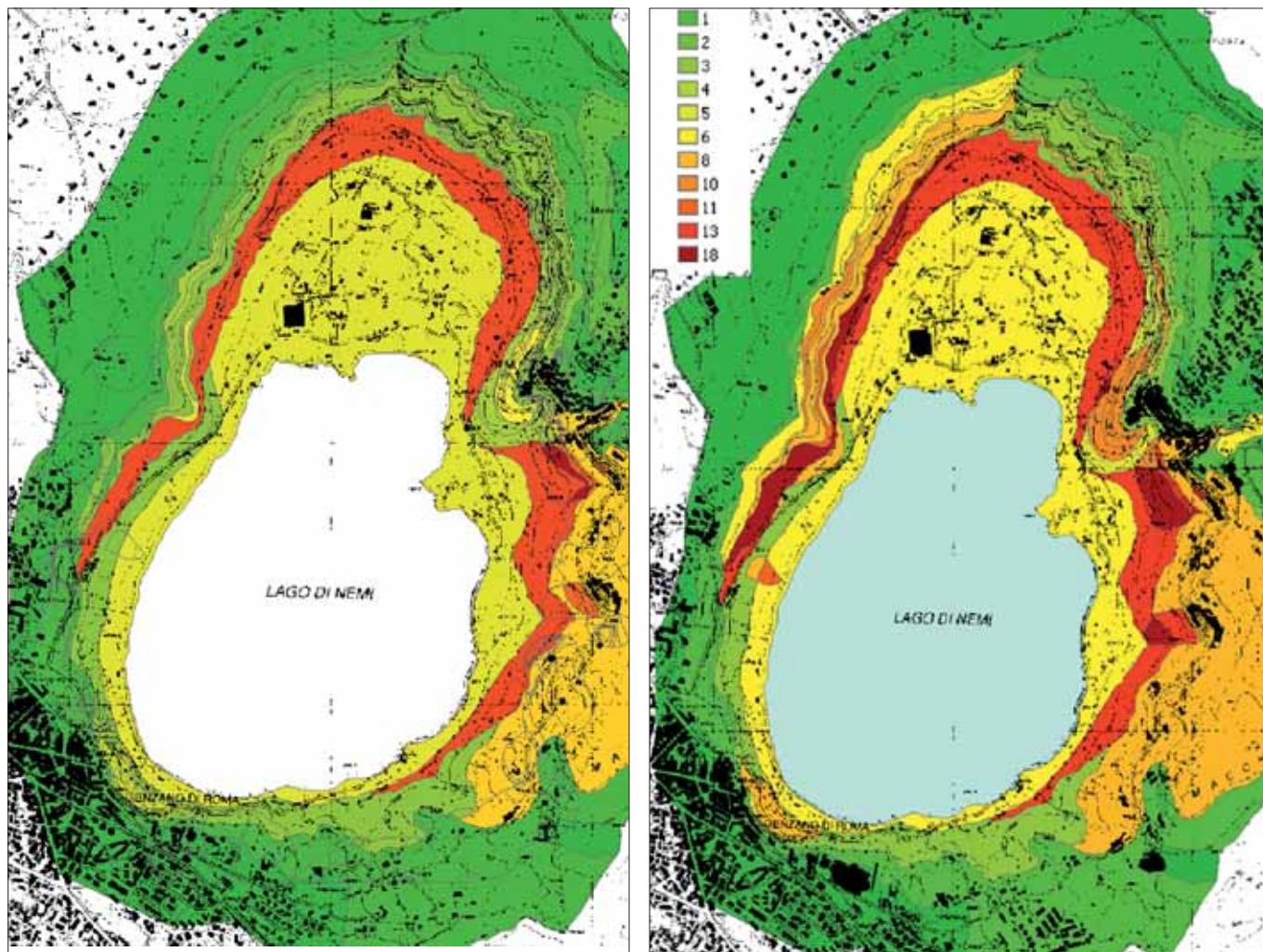


Figura 4: La carta del "rischio attuale" (a sinistra) e quella del "rischio in previsione" (a destra) per l'area del cratere di Nemi.

possibile, attraverso successive elaborazioni, valutare il sistema di "rischio territoriale in previsione".

Il modello proposto consente di valutare la prevenzione del rischio e può dare dei suggerimenti per definire un piano regolatore generale ben strutturato che vada a localizzare razionalmente attività e interventi urbanistici. Per questo motivo, nella fase preliminare di studio, deve essere prevista la rilevazione dei dati riguardanti i diversi rischi ambientali integrandoli con le previsioni di urbanizzazione: questo processo può essere portato a compimento utilizzando le metodologie suggerite dai "sistemi informativi".

AREA DI STUDIO

Nell'ambito di un approfondimento sulle tematiche ambientali nell'area del cratere del lago di Nemi (vedi Figura 1), riprese dai dati ottenuti dal progetto Demotec-A (EVK4-CT-2002-80011) (7), si è centrata l'attenzione sui rischi derivati da una programmazione urbanistica comunale non correlata con le informazioni scientifiche sullo stato geomorfologico del territorio.

Il sistema territoriale di studio, il bacino del lago di Nemi, deriva da una serie di crateri coalescenti formatisi nell'ultimo perio-

do di evoluzione del grande Vulcano Laziale, il fondo del cratere è attualmente occupato dall'omonimo lago che negli ultimi venti anni ha presentato problemi di eutrofizzazione culturale.

Il sistema è nel suo complesso interessato dalle problematiche di rischio comuni a molti territori italiani caratterizzati dalla presenza di bacini lacustri, ma, nel caso in studio, le emergenze sono amplificate da una intensa pressione demografica esercitata da tutta l'area dei Castelli Romani (350.000 abitanti residenti) e dalla vicina città di Roma (2.700.000 abitanti residenti).

METODI E STRUTTURA DEL MODELLO

Il lavoro è stato svolto utilizzando principalmente le risorse messe a disposizione dall'Agenzia Spaziale Europea ESA-ESRIN di Frascati. I dati rilevati sono stati introdotti in un Sistema Informativo GIS, appositamente costruito sul tema dei rischi (ArcInfo 9.3) e correlati con dati cartografici ed immagini satellitari a media, alta ed altissima risoluzione. Immagini e cartografie sono state tutte georeferenziate nel sistema UTM ED1950 33 N.

Il sistema informativo precedentemente costruito (6,7), e limitato al solo comu-

ne di Nemi, è stato completato, in questo lavoro, inserendo i dati relativi al comune di Genzano: ciò ha permesso di aggiungere al modello di rischio la variabile relativa al carico urbanistico per tutto l'orlo del cratere. Si è così individuato, con il modello digitale del terreno, il bordo del cratere vulcanico dal quale siamo partiti per costruire un buffer di 100 metri all'esterno dell'orlo del cratere stesso: in questa fascia sono stati compresi tutti gli edifici presenti nei due comuni presi in esame (vedi Figura 2). Si è valutato quindi il carico urbanistico utilizzando nel buffer, come indice territoriale, la superficie edificata e su questi dati è stato impostato un interpolatore spaziale geostatistico (ordinary Kriging) che ha prodotto nove classi di peso urbanistico.

Successivamente dal modello digitale del terreno DTM, da interferometria SAR (passo 10 metri), si è costruita la carta delle pendenze, l'analisi dei risultati ha consentito di ricostruire e definire una "carta morfologica" suddivisa in cinque livelli di pendenza (vedi Tabella 1).

Le informazioni relative alla struttura geologica generale del territorio sono state desunte dalla "Carta geologica del complesso vulcanico dei Colli Albani" [8], mentre per il bacino

del lago ci siamo basati sulla carta geologica 1:5.000 che evidenzia le principali unità [9].

Alle diverse unità geologiche è stato poi assegnata una classe da 1 a 6: il valore 1 indica una struttura molto stabile, poco permeabile e quindi meno suscettibile allo sforzo di taglio, mentre il valore 6 individua una struttura fortemente instabile, ad alta permeabilità e quindi suscettibile allo sforzo di taglio e, quindi, allo scivolamento (vedi Tabella 2).

Le informazioni relative alle classi di peso urbanistico urbanistiche, alle pendenze, riportate in Tabella 1 e alle strutture geologiche, riportate in Tabella 2, costituiscono il data base attributi del GIS, per la costruzione della "carta rischio". È stato calcolato quindi un valore di stabilità del versante "Vs" ed un valore di rischio "R", utilizzando le seguenti equazioni:

$$V_s = \text{int} [(SQR(C_p + C_g) + 1)] \quad 1$$

Mentre il valore del rischio "R" è ricavato da:

$$R = \text{int} ((C_p * C_g) - V_s) + P \quad 2$$

dove: C_p = valore classe pendenza, C_g = valore classe geolitologica, P = peso aggiuntivo e V_s stabilità del versante.

Per calcolare P (peso aggiuntivo) si è utilizzata l'equazione

$$P = (P_f + P_u)^{0.3}$$

[P_f = peso frane (0,5), P_u = peso urbanistico (0,9)]. Riguardo il peso frane con $P_f = 0$ si individua un evento nullo, mentre con $P_f = 5$ un evento rilevante e ripetitivo, mentre le classi relative al peso urbanistico, variano da 0 a 9 in funzione della densità edilizia.

RISULTATI

Utilizzando le equazioni 1) e 2) precedentemente riportate, è stata elaborata la "carta di rischio" correlando, nella matrice degli attributi, i valori dei diversi campi relativi alla morfologia, la struttura geologica del territorio e inserendo, quindi, opportuni pesi nella equazione 2.

Il modello ha permesso di individuare 18 classi a diverso livello di intensità rischio: i valori bassi, toni di verde [1-4], evidenziano che la struttura morfologica e geologica del territorio non è a rischio, i valori intermedi, toni giallo [5-6], individuano un rischio trascurabile, i valori alti, toni di arancio-rosso [8-18], mostrano, invece, un rischio sempre più elevato. In queste ultime zone la combinazione tra la morfologia del territorio (pendenza) e la struttura geologica evidenzia che le strutture offrono una scarsa resistenza allo sforzo di

taglio e, quindi, sono zone ad elevato rischio scivolamento. La carta di rischio "attuale" costruita con la metodologia precedentemente descritta, rappresenta lo stato di fatto sulla base della situazione urbanistica esistente.

Per evidenziare il fattore di rischio futuro, sulla base delle previsioni dei piani regolatori dei comuni in esame, sono state individuate, lungo il bordo del cratere vulcanico, due zone campione: una nel comune di Nemi (zona villa delle Querce), l'altra nel comune di Genzano (zona piazza Cina- Cimitero) (vedi Figura 3), di cui sono noti i dati di espansione edilizia ed è stato, quindi, ricalcolato il peso aggiuntivo urbanistico.

La stessa metodologia di calcolo, utilizzata per valutare il "rischio attuale", ha consentito di calcolare un valore di rischio futuro e di identificare una carta di "rischio in previsione". I risultati finali delle elaborazioni sono riportati nella Figura 4 dove è evidenziata la previsione del livello di rischio crescente con toni di colore dal verde al rosso scuro per la situazione attuale (a sinistra) e per la situazione futura (a destra) sulla base delle previsioni dei piani regolatori generali (10,11).

CONCLUSIONI

Il lavoro presenta un modello di analisi del rischio territoriale che può essere applicato in altre realtà territoriali, ad esempio in territori che comprendano bacini lacustri, centri storici di particolare pregio ed emergenze naturalistiche. L'applicazione del modello in un'altra realtà urbanistico territoriale consentirebbe la verifica della validità del modello proposto.

Nel caso in esame sono stati utilizzati come fattori principali del modello la morfologia e la geo-litologia insieme ad alcuni fattori di rischio (peso urbanistico e peso della frane) ai quali, per una valutazione completa dal punto di vista ambientale, dovrebbero essere aggiunti altri parametri quali ad esempio fattori legati alla presenza-assenza di vegetazione, alla sismicità e agli incendi.

I risultati ottenuti con la prima elaborazione e riportati nella "carta di rischio attuale" hanno consentito di evidenziare lo stato di fatto e di verificare i dati conclusivi di un precedente lavoro [6], che aveva come obiettivo quello di stabilire i livelli di rischio dovuti alle frane che di frequente si verificano nel bacino del lago. Le elaborazioni successive hanno consentito, invece, di approfondire alcuni aspetti urbanistici. Infatti prendendo in considerazione due zone chiave nel bacino del lago: villa delle Querce (Nemi) e Piazza Cina (Genzano) le cui previsioni di piano regolatore prevedono una espansione edilizia pari ad un incremento del 40% e del

200% rispettivamente, si è ricostruita la carta di "rischio in previsione": i risultati di tale analisi hanno evidenziato un peggioramento della situazione.

Il confronto delle risultanze riportate in Figura 4, evidenzia, nella carta "in previsione", una maggiore estensione delle superfici nelle zone a rischio ed un aggravamento dei loro livelli rispetto a quelli individuati nella carta di rischio "attuale". Infatti nella zona sotto villa delle Querce (Nemi) si è registrato un aumento della "feature class" [da 13 a 18] e nella zona sotto Piazzale Cina (Genzano) una variazione in aumento [da 4 a 8].

L'analisi storica delle frane avvenute tra l'anno 2008 ed il 2009, ha mostrato (6) che tali fenomeni si sono manifestati nel comune di Nemi a valle del centro storico, là dove il modello proposto ha evidenziato il livello di "rischio attuale" più elevato [classe 18]. Si può, quindi concludere che, in futuro, quando saranno realizzate le previsioni di piano regolatore, tutte le zone rosso-scuro caratterizzate da un valore pari a 18, nella carta in "previsione", saranno potenzialmente ad alto rischio frane.

La metodologia di analisi proposta che può essere applicata nella fase di studio preliminare degli strumenti di pianificazione territoriali e, quindi, anche nei piani regolatori comunali, presuppone, tuttavia, una ampia ed approfondita conoscenza del territorio in esame in tutti i suoi aspetti e soprattutto la completa indipendenza da qualsiasi condizionamento.

BIBLIOGRAFIA

- ORTOLANI F., SPIZUOCO A. (2010), *Geologia dell' Ambiente*, 18 (1), 3-12.
- FIORINI L., BERNARDINO R. (2007), *Atti XXVIII Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, Bolzano 26-28 settembre 2007, 45-52.
- LORET E., LICHTENEGGER J. (1996), *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 6 (1), 20-25.
- LORET E., CADONI F., FUNDARO' I., LICHTENEGGER J., FUSCO L. (1998), *Atti II Conferenza ASITA*, Napoli 24-27 novembre 1998, Vol. 2, 145-150.
- TESTANA C., LORET E., SARTI F., FEA M. (2008), *AR 79, Prospettive Edizioni (Roma)*, 43 (5), 48-51.
- LORET E., MEDICI F., TESTANA C. (2010), *Geologia dell' Ambiente*, 18 (1), 17-21.
- <http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PROJECT&ACTION=D&RCN=67968>
- DE RITA D., FUNICELLO R., PAROTTO M. (1988), *Carta geologica (1:50.000) del complesso vulcanico dei Colli Albani*, C.N.R. Roma.
- DECINI D., DE RITA D., NARCISI R., NEGLIA M. (1987), *Progetto Nemi carta geologica: valutazione della situazione ambientale del lago di Nemi*, Provincia di Roma, Assessorato all' Ambiente.
- PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI NEMI (*Bollettino Ufficiale della regione Lazio*, N. 19 del 9 luglio 2005 Suppl. Ord. N.1).
- PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI GENZANO (*Bollettino Ufficiale della Regione Lazio* N.25 del 10 sett. 2005 Suppl. Ord. N.3).

Shallow landslides susceptibility assessment: application and comparison of physically based models in an area of Oltrepo Pavese

CLAUDIA MEISINA
Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente,
Università degli Studi di Pavia
e-mail: claudia.meisina@unipv.it

DAVIDE ZIZIOLI
Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente,
Università degli Studi di Pavia

1. INTRODUCTION

Shallow landslides are usually triggered by short-period but very intense rainfall events; they can cause widespread direct and indirect damage to the terrain, infrastructure, as well as urban and rural developments. Their high potential of causing damages and human losses make the assessment of the shallow landslides susceptibility an important issue for their forecasting.

An approach for the susceptibility assessment of the shallow landslide source areas consists on the physically based models. These models generally couple a hydrologic model, for the analysis of pore-water pressure regime, with an infinite slope stability model for the computation of the factor of safety (e.g. Montgomery and Dietrich, 1994; Pack et al., 1998; Baum et al., 2002).

Oltrepo Pavese, which is located in the Northern Apennines of Italy, is characterized by high density of landslides and has historically suffered from widespread damage from landslides. The mass movements often developed in clayey-marly formations and are classified as complex movements. More recently extreme rainfall events have triggered shallow landslides in areas, which were not yet affected by these types of landslides. An important event happened subsequently to rapid snowmelt and intense rainfall in April 2009.

The main objective of this research is to evaluate the predictability of shallow landslide occurrence of April 2009 event using three physically based models: SHALSTAB (Montgomery and Dietrich, 1994), SINMAP (Pack et al., 1998) and TRIGRS (Baum et al., 2002). The results obtained from the three models are compared in order to highlight potential and limitation of these models for the forecasting of the potential source areas.

2. THE STUDY AREA AND DATASET

On the 27th and 28th April 2009, the north-eastern sector of Oltrepo Pavese (northwestern Apennines) experienced extreme rainfall event. On the 28th of April, Cigognola rain-gauge station recorded 150 mm of rain in 48 h (20% of the annual average amount).

The April 2009 event occurred after a rather wet winter season with heavy snowfall. The rainfall data show a distinct rainfall peak occurred at 9 p.m. on April 27th. After this peak was reached, several shallow landslides were triggered, causing one fatality and damaging/blocking roads in several places.

A test area, with an extension of 17.5 km², was selected in the sector of Oltrepo Pavese with the highest density of the April 2009 landslides (Fig. 1).

The test site slopes are characterized by medium-high gradient (40 % of the area have slope gradient higher than 15°) and are composed of marls (S. Agata Fossili Marls) and of gravel, sand and poorly cemented conglomerates (M. Arzolo Sandstones and Rocca Ticozzi Conglomerates). A small portion of the area is characterized by the presence of Gessoso-Solfifera Formation (marls, sandy marls and vacuum limestones with lens of gypsum-rudites containing gypsum selenite). The strata dip towards E. Colluvial soils, derived by the weathering of the bedrock, have a thickness ranging from 0.5 m to 2-3 m at the bottom of the valley.

The geotechnical characterization of colluvial deposits was based on standard soils analysis conducted according to the ASTM standard. The performed tests include (i) assessment of the physical parameters of materials (grain size distribution, bulk and dry densities and Atterberg Limits), (ii) standard geotechnical tests (direct shear tests).

On the basis of grain-size distribution, the colluvial soils derived by the weathering of the S. Agata Fossili Marls were classified as clayey silt (the percentage of clay is less than 30%); the colluvial soils derived by the weathering of M. Arzolo Sandstones and Rocca Ticozzi Conglomerates were classified as clayey sandy silt (the percentage of sand fraction is up to 13-17%). According to USCS classification the majority of the analyzed samples are non plastic or slightly plastic soils (CL). Coarse fragments consisting in marls or sandstone derived from the underlying bedrock are also present in the colluvial deposits.

Dry density, in colluvial soil slopes, ranges between 15 and 16.3 kN/m³. Porosity ranges

between 0.38 and 0.43. Shear strength parameters, which have been determined through direct shear tests on 15 samples, show a friction angle in the 23°÷32° range (the highest values correspond to the colluvial soils of the Rocca Ticozzi Conglomerates and M. Arzolo Sandstones). The effective cohesion ranges between 0 kPa and 10 kPa.

The geotechnical soil profiles do not show significant geotechnical dependence on depth. Nevertheless, below the cover forming the interface, between the soil layers and the bedrock, there is a thin layer of silty clay derived from the direct weathering of the bedrock. In a large number of cases, these thin layers constitute the sliding surface of the landslide.

The colluvial deposits have medium-high permeability; the bedrock of M. Arzolo Sandstones and Rocca Ticozzi Conglomerates has also a high permeability. Extensive perched water table development is common on these colluvial soils slopes, overall during the rainy season.

Aerial photointerpretation coupled with field surveys revealed that the rainfall event of April 2009 triggered about 1,600 landslides in the north-eastern sector of Oltrepo Pavese. At least 492 landslides occurred in the test site. Field observations indicated that the slides occurred mainly in colluvial soils. Most of the slides were shallow (thickness is usually between 0.5 m and 2 m) with the failure surface located along the contact between the colluvial cover and the weathered bedrock and in some cases involving portions of the bedrock. According to the classification of Cruden and Varnes (1996) and to that proposed by Campus et al. (1998) for rainfall-triggered landslides, four types of landslides can be identified: a) incipient translational slide; b) translational soil slide; c) rotational slide, d) complex landslide.

Common characteristics of the shallow landslides are the coalescence of scars and/or accumulations. They have a surface of less than 1,000 m² and the average surface is about 750 m². The observation of aerial photographs of different periods do not detect similar phenomena in the past, this may be due to the extinction rate of the scars caused by man-made activity.

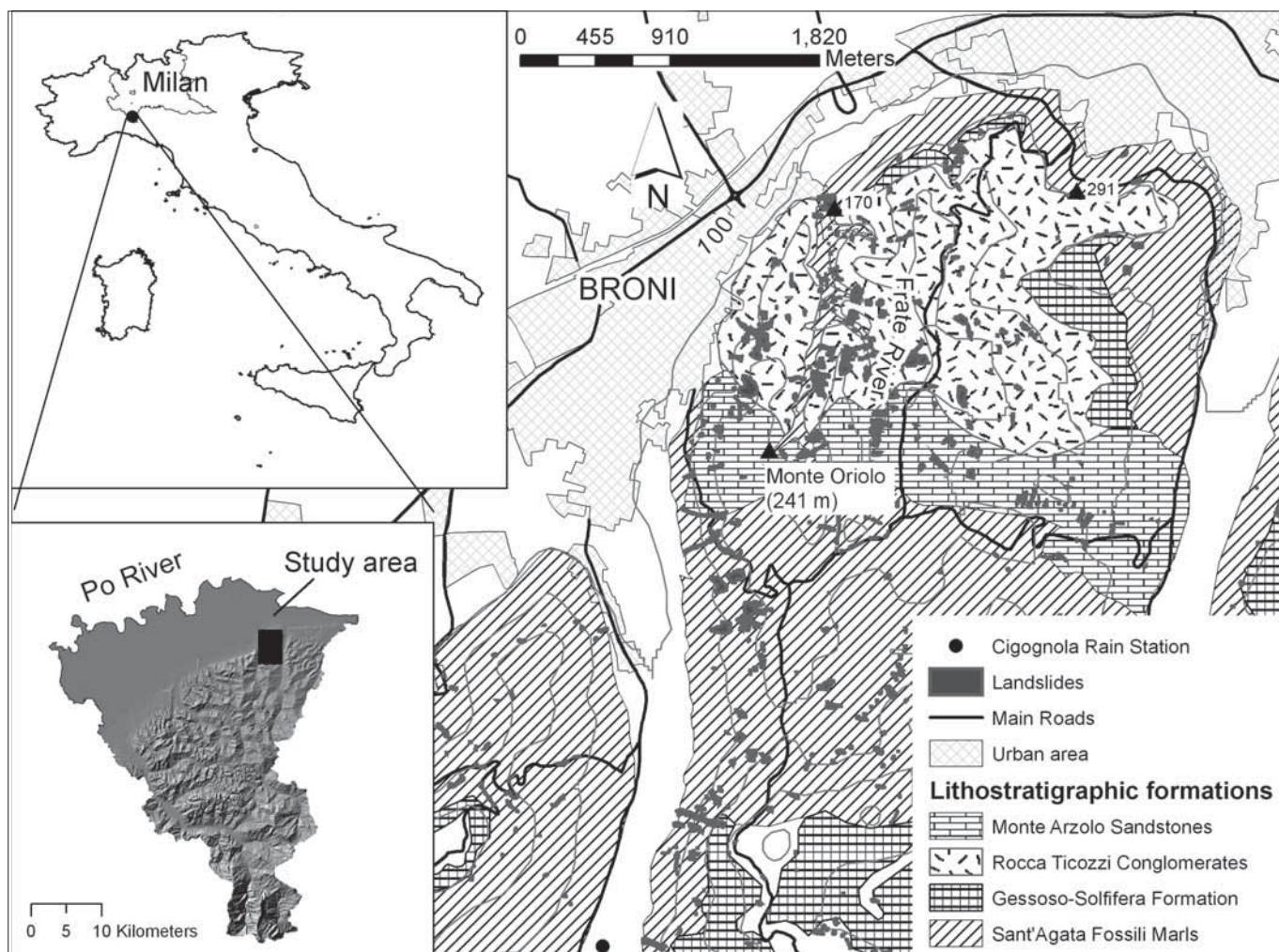


Figure 1: Geological sketch map and location of the shallow landslides triggered by the 26-27 April 2009 rainfall event.

Landslides appear on SW-NE oriented slopes and were observed in the slope range from 16° to 37° . The landslide frequency is higher for slope angles between 25° - 30° and tends to decline with an increasing or decreasing slope angle.

Most of the landslides tended to be concentrated in areas of slope angle change (e.g., from a gentle slope to a steep slope).

Generally landslides occurred in correspondence of slope angle changes which also correspond to changes in land use (from gentle slope with vineyards to steep slopes with wood-land). Changes in land cover have played major role in landslide occurrence and distribution in the study area. From 1980 to 2009 woodland increased from 8% to 45% as a consequence of recolonisation of abandoned vineyards. "Woodlands" are then composed by trees and shrubs developed on abandoned vineyards and they are less than 20 years old. The roots extend generally in the first meter of the soil profile and are involved in the landslide. In the abandoned vineyards the old tillage pattern oriented across the maximum slope gradient allow also the concentration of water. This explains the occurrence of a great number of landslides in correspondence of the woodland.

3. SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT

3.1. PHYSICALLY BASED MODELS

The mathematical models developed by Montgomery and Dietrich (1994), Pack et al. (1998) available for studying shallow landslides, take into account the infinite plane slope stability model coupled with a steady state topographic hydrologic model. The term "steady state" at this point does not refer to any long term, e.g. annual, averages, but to a critical period (event) of wet weather that is likely to trigger landslides. Both models are tools designed as an ArcView extension. Important assumptions underlying the SINMAP (Stability INDEX MAPPING) and SHALSTAB (SHALLOW Landsliding STABILITY Model) theory include that the subsurface hydrologic boundary is parallel to the surface, and that soil thickness and hydraulic conductivity are uniform. Soil thickness is interpreted perpendicular to the slope. Other hypotheses are a steady state shallow subsurface flow and the absence of deep-drainage and flow in the substratum.

SINMAP outputs the stability index value (SI). The stability index is defined as the probability that a location is stable assuming uniform distributions of the parameters over the uncertainty ranges. This value range between 0 (most unstable) and 1 (stable).

Where the most conservative set of parameters (i.e. the set with the most unfavorable combination of parameters for stability) in the model results in stability, the stability index is defined as the factor of safety at this location.

SHALSTAB predicts the steady state rainfall necessary for slope failure throughout a study area. The output is represented by critical rainfall q_{cr} : areas with lower q_{cr} are interpreted as more susceptible to shallow landsliding, whereas areas with higher q_{cr} are interpreted as more stable, as a less frequent rainfall event would be required to cause instability. Thus the spatial distribution of critical rainfall expresses the potential for shallow landslide initiation. If $\tan\theta$ (θ =slope angle) equals or exceeds $\tan\phi$ (ϕ =soil friction angle) slope instability will occur even under dry conditions according to the model. This category of instability is called "chronic". If $\tan\theta < \tan\phi (1 - \rho_w/\rho_s)$ (ρ_s =wet soil density, ρ_w =the density of water), then slope instability is unlikely as ground is not expected to fail even at saturation. Grid cells falling into this category are ranked as "stable".

TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-stability analysis) model is coded in Fortran and is designed for modeling the potential occur-

Table 1. Initial setting for the input parameters for SINMAP. Cr=root cohesion [N/m²], C'=soil cohesion [N/m²], θ=slope angle, ρs=wet soil density [kg/m³], ρw=the density of water [kg/m³], g=gravitational acceleration (9.81m/s²), D=the vertical soil depth [m], f the internal friction angle of the soil, h [m]=soil thickness; T is the soil transmissivity [m²/h]; R [m/h] steady state recharge.

Region	φ (°)		C= (Cr+C')/(h g ρs)		T= k D (m ² /h)		R (m/h)	T/R (m)	
	min	max	min	max	min	max		min	max
S.Agata Fossili Marls	24	25.4	0.06	0.80	0.002	0.079	0.00021	11.83	371.88
Rocca Ticozzi Conglomerates	30	33.7	0.05	1.18	0.018	8.64	0.00021	84.52	40568.67
M.Arzolo Sandstones	23.3	29.9	0.03	0.72	0.021	8.64	0.00021	101.423	40568.673
Gessoso-Solfifera Formation	22	27	0.09	0.83	0.001	0.086	0.00021	9.29	405.68

rences of shallow landslides by incorporating the transient pressure response to rainfall and downward infiltration processes (Baum et al., 2002; Baum et al., 2008). Under assumption of saturated or tension-saturated initial soil conditions, the TRIGRS program computes transient pore-pressure changes to find analytical solutions to partial differential equations, representing one-dimensional vertical flow in isotropic, homogeneous materials due to rainfall infiltration from storms with durations ranging from hours to a few days. The TRIGRS program uses an infinite-slope model to compute a factor of safety (FS) calculation for each grid cell.

3.2. INPUT DATA

A Digital Elevation Model (DEM) provides the topographic basis for SINMAP, TRIGRS and SHALSTAB study. The DEM was constructed from a 1:10000 scale contour map, with a resolution of the topographic data on the order of 10 m (grid size of 10×10 m).

For the analysis with TRIGRS and SINMAP the study area was divided into 4 regions, characterized by quite homogeneous in situ conditions and soil properties (Table 1) and corresponding to the lithostratigraphical units. SINMAP allows uncertainty of the variables through the specification of lower and upper bounds. Formally these bounds define uniform probability distributions over which these quantities are assumed to vary at random (Table 1).

For SHALSTAB the parameters are considered constant and uniformly spatially distributed all over the study domain, the model defines the topographic control on the location of shallow landslides. The geotechnical and hydrological parameters have been calculated as weighted average of the all parameters.

The soil thickness was derived from field data collected after the April 2009 event. The approach proposed by Saulnier et al. (1997), which correlates soil depth to the local slope angle, was adopted.

As far concerning the hydrological parameters the hydraulic conductivity was derived by pedological maps. The hourly rainfall intensities recorded in the Cigognola rain gauge during the April 2009 event were assumed as boundary conditions at the slope surface.

Table 2. Input parameters for TRIGRS

	φ (°)	C' [N/m ²]	ρs [kN/m ³]	k [m/s]
S.Agata Fossili Marls	25.4	10000	18.701	1.0*10 ⁻⁶
Rocca Ticozzi Conglomerates	33.7	10000	19.122	1.0*10 ⁻⁵
M.Arzolo Sandstones	29.9	7900	19.907	1.0*10 ⁻⁶
Gessoso-Solfifera Formation	27	7500	19.417	1.0*10 ⁻⁶

For SINMAP the ratio steady state recharge R/T soil transmissivity combines both climate and hydrogeological factors. The transmissivity T represents the water flow within the soil and was derived from the hydraulic conductivity (minimal and maximal). The parameter R (steady state recharge rate) is influenced by factors like rainfall intensity and duration. The recharge was assumed to be the effective precipitation. It means rainfall minus evapotranspiration and bedrock infiltration. For each region the potential evapotranspiration was calculated from the rainfall and temperature with the Thornthwaite and Mather method (1957). The land use map allows determining the water holding capacity necessary for the evapotranspiration calculation. The amount of infiltration depends on slope angle and we suppose that only ¼ of the water infiltrates in the substratum.

As regards TRIGRS initial conditions a water table depth corresponding to the ground level was assumed.

Landslide inventory information was obtained through color aerial photographs taken immediately after the April event 2009 with an image resolution of 15 cm (photo scale 1:12,000) and were used for evaluation the models results.

3.3. COMPARISON OF THE MODELS

Figure 2 shows the results obtained with the three models. There is a general agreement between the source areas provided by the three used models.

The predictive capability of the three models was compared using the so-called receiver-operating characteristic (ROC) plot (Begueria, 2006) (Fig.3). In the ROC plot, the sensitivity of the model (the percentage of unstable cells correctly predicted by the model) is plotted against 1-specificity (the percentage of predicted unstable cells over the total). These values indicate the ability of the model

to correctly discriminate between positive and negative observations in the validation sample. High sensitivity indicates a high number of correct predictions (true positives) whereas high specificity (low 1-specificity difference) indicates a low number of false positives. For instance, a conservative model, which predicts most of the cells as unstable, would have high sensitivity but low specificity (high number of false positives). The area under the ROC curve can serve as global accuracy statistic for the model and it is threshold-independent. This statistical ranges from 0.5 (random prediction, represented by the diagonal straight line) to 1 (perfect prediction) and can be used for models comparison.

As it can be seen, TRIGRS show better performance than the others models.

Global accuracy (the area under the ROC curve) is 0.81 for SHALSTAB. The incidence of shallow landsliding is high for areas mapped as "chronic" and for areas with critical rainfall lower than 200 mm/day (150 mm of rain in 48 h were recorded in the April 2009 event). This demonstrates that SHALSTAB is successful at identifying the most unstable areas of the landscape.

The global accuracy of SINMAP is quite similar and it is equal to 0.8, although rather conservative. About the 32 % of the study area is classified with SI below one (upper threshold and lower threshold classes), which refer to conditions that are highly unstable and thus critical.

A slightly better performance is measured for TRIGRS (0.85).

False positives (over prediction of landslide areas) are present in SHALSTAB and TRIGRS; they are generally represented by:

- 1) areas with higher slope angles. These zones are especially present in the SHALSTAB model where if tanθ equals or exceeds tanφ slope instability will occur even under dry conditions;

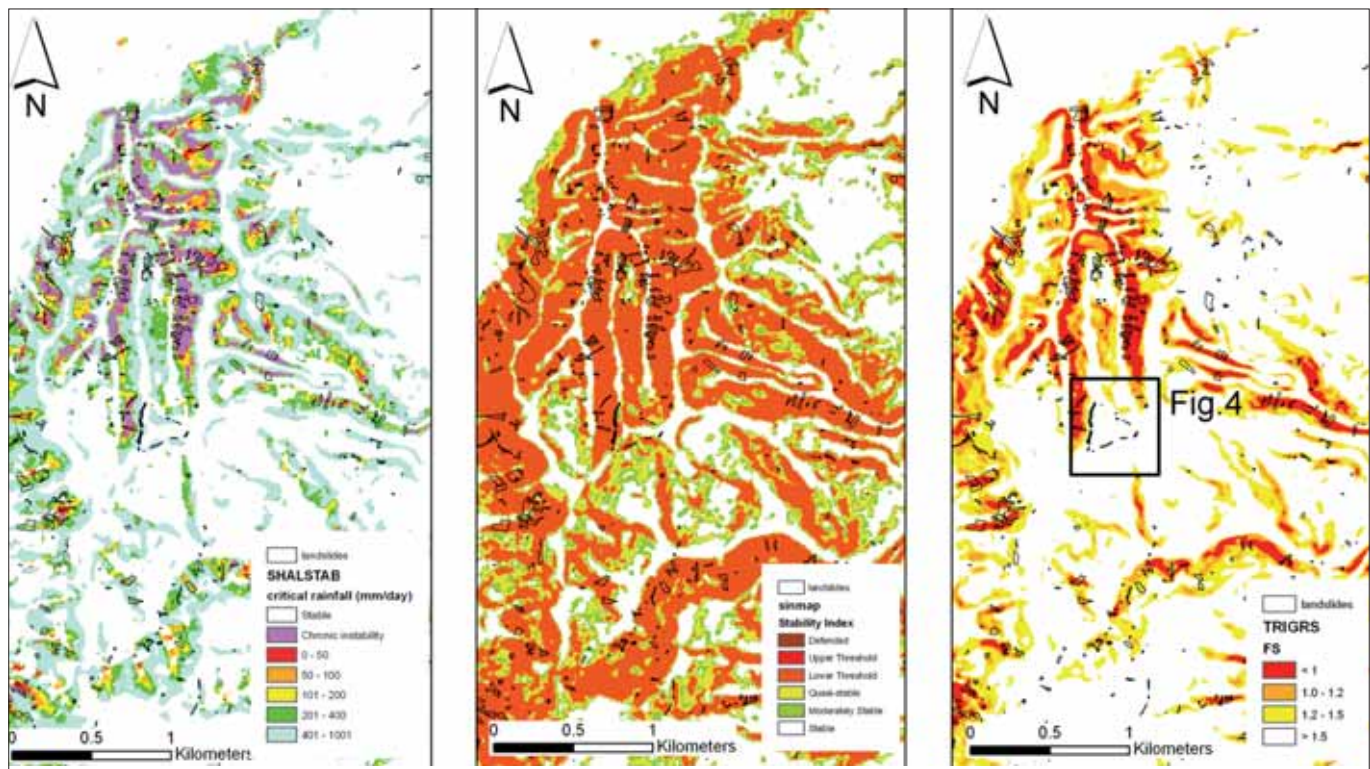


Figure 2: Results obtained with SHALSTAB, SINMAP and TRIGRS.

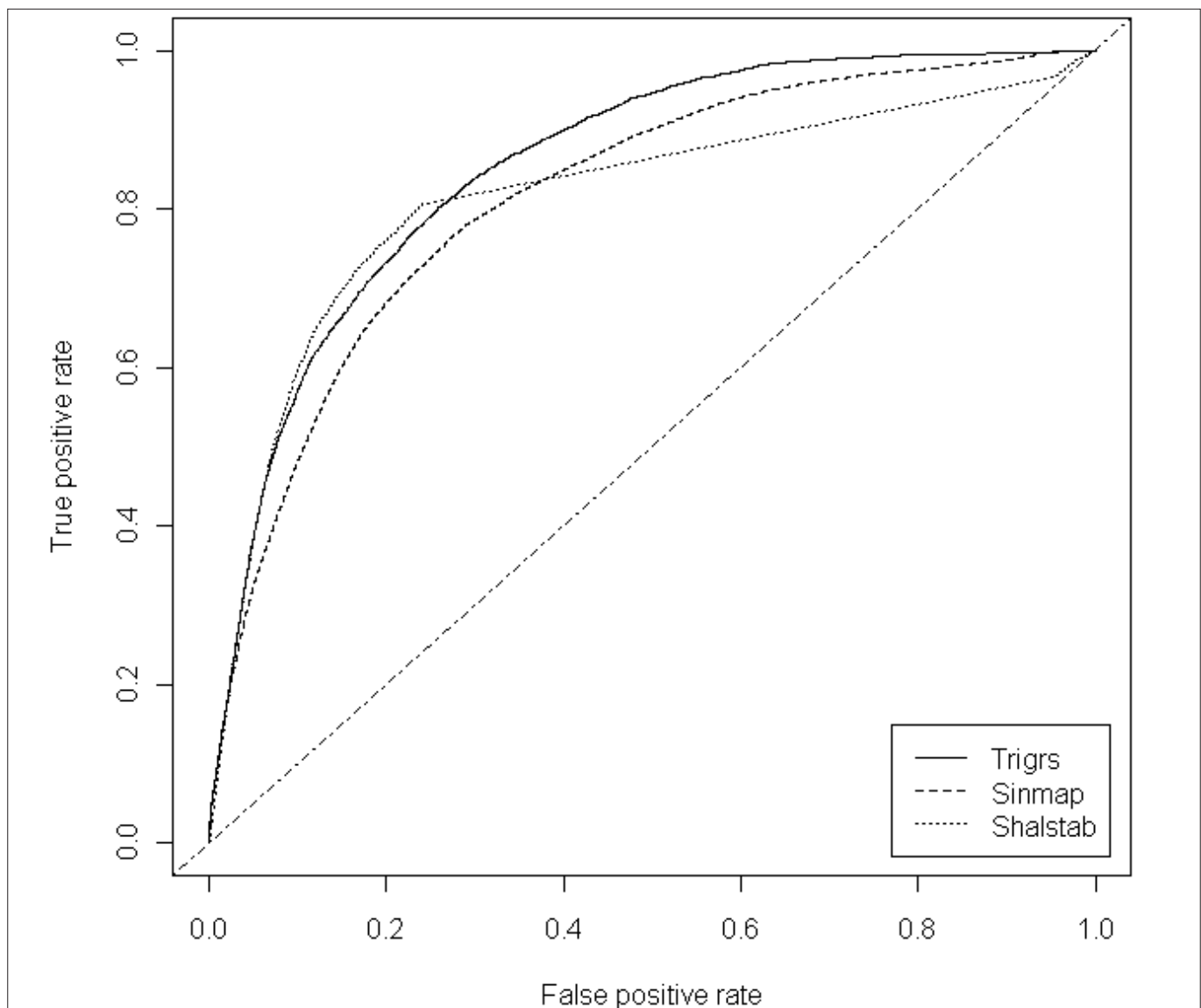


Figure 3: Comparison of ROC curves obtained with the different adopted methods.

- 2) areas corresponding to south-facing slopes. Due to the different insolation the initial saturation conditions of the soils were different at the beginning of the April 2009 event on south and north – facing slopes.
- 3) areas with presence of vegetation with a root systems which contribute to soil strength by providing an additional cohesion component (e.g. old woodland).

The different conditions described in the points 2) and 3) were not taken into account in the used models.

A relative high number of false negatives are related to shallow landslides triggered by anthropogenic activity such roads, which have not been incorporated within the physically based model approaches (Fig.4). These areas concern rotational slides which developed in presence of road cut and which represent the 25 % of the shallow landslides of the test site.

4 CONCLUSIONS

Three physically based models (SHALSTAB, SINMAP and TRIGRS) were used to evaluate the predictability of shallow landslide occurrence of April 2009 event in a test area of Oltrepo Pavese.

TRIGRS and SINMAP model the source areas of shallow landslides for a specific event (the April 2009 event). Heterogeneity is accounted for by allowing material properties and other input values to vary from grid to grid.

SHALSTAB provides the spatial distribution of critical rainfall which expresses the potential for shallow landslide initiation. SHALSTAB assumes constant properties in the whole area.

Even if the simplified assumptions about slope hydrology and kinematics (steady state slope parallel flow, translational slides) adopted by SHALSTAB and SINMAP are not very realistic in the test site, all the models forecast good agreement with the mapped inventory. SINMAP model furnishes more unrealistic scenarios than the others models. TRIGRS represents the most adequate model for the analysis of shallow landslide source areas occurred within the study area.

Physically based models are useful for the shallow landslide susceptibility assessment at regional scale, nevertheless they take not into account some important predisposing factors in the study area, namely the anthropogenic activity (roads cut and particularly those related to vineyards). Future researches are devoted to the identification of mapping units, which take into account the different land use of the territory, and to the study of the role of the root systems of different typology of vegetation (e.g. old woodland, abandoned vineyard).

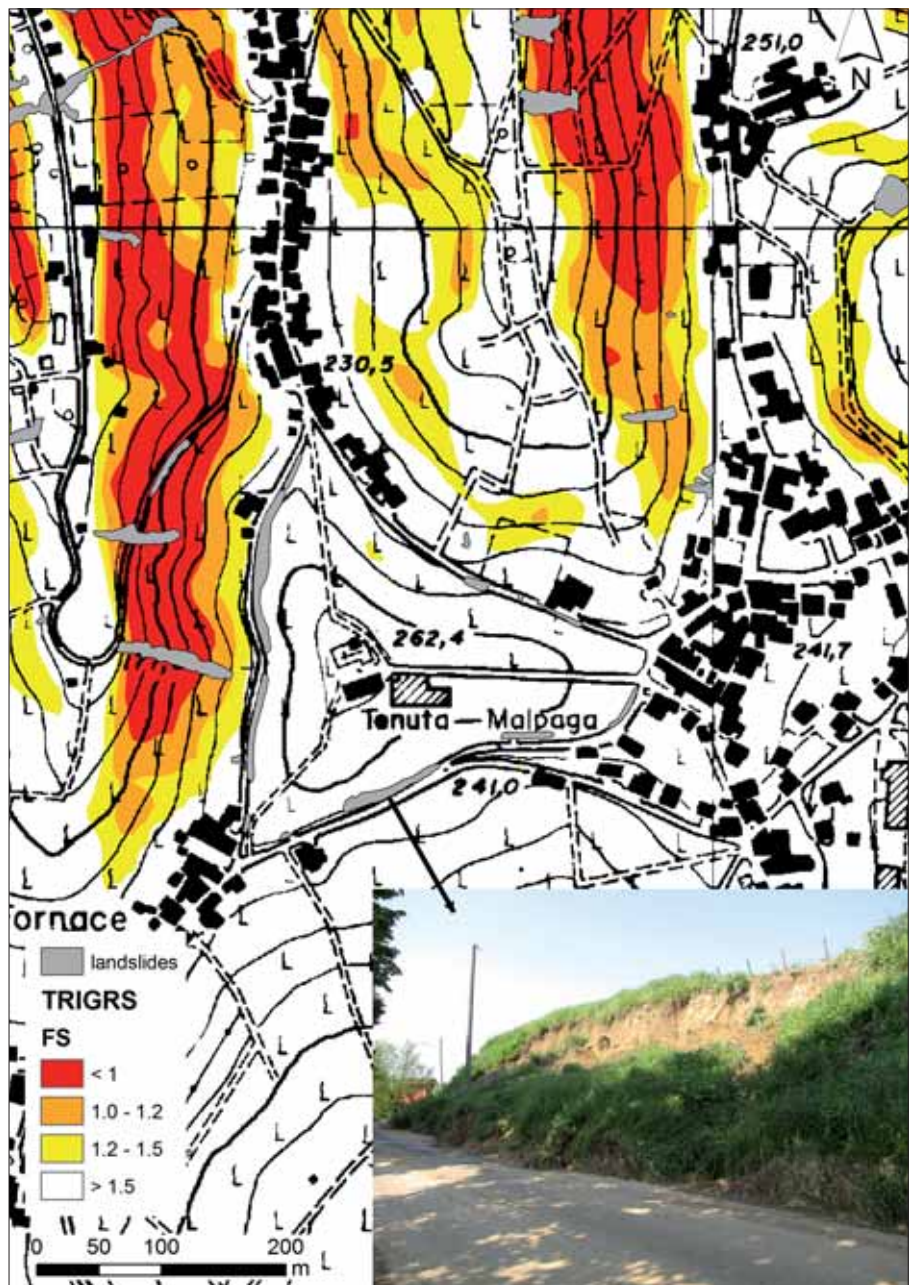


Figure 4: Comparison between TRIGRS results and the distribution of rotational slides related to road cuts. See Fig.2 for the location of the area.

REFERENCES

- BAUM R.L., SAVAGE W.Z., GODT J.W. (2002) *TRIGRS—a Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis*. US Geological Survey Open-File Report 2002-0424.
- BAUM R.L., SAVAGE W.Z., GODT J.W. (2008). *TRIGRS—a Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, version 2.0*. US Geological Survey Open-File Report, 75 p.
- BEGUERIA S. (2006). *Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management*. Nat. Hazards, 37(3), 315–329.
- CAMPUS, S., FORLATI, F., SUSELLA, G., AND TAMBERLANI, F. (1998). *Frane per mobilitazione delle coperture detritiche*, in: *Eventi alluvionali in Piemonte, Regione Piemonte, Torino*, 266–287.
- CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1996). *Landslide types and processes*. In: Turner AK, Schuster RL (Eds) *Landslides: investigation and mitigation*. Sp. Rep.247, Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington DC, pp 36–75.
- MONTGOMERY, D.R., DIETRICH, W.E. (1994). *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. Water Resources Research, 30, 1153–1171.
- PACK, R.T., TARBOTON, D.G., GOODWIN, C.N. (1998). *The SINMAP approach to terrain stability mapping*. In: Moore, D.P., Hungr, O. (Eds.), 8th Congress of IAEG, vol. 2. Balkema, The Netherlands, 1157–1165.
- SAULNIER G.M., BEVEN K., OBLED C. (1997). *Including spatially variable effective soil depths in TOPMODEL*. J. Hydrol., 202, 158-172.
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Climatology, 10, 3.
- ACKNOWLEDGEMENTS *This study has been supported by research projects funded by Broni municipality, Pavia Province and Rotary Club Oltrepo Pavese. The aerial photograph of 18 May 2009 was taken by Ditta Rossi s.r.l. (Brescia).*

Dal dissesto idrogeologico al *disastro antropologico*

ORAZIO PATTI
Geografo

RIASSUNTO

Se la Geografia è la rappresentazione della dinamica storica delle società allora l'Italia presenta le migliori condizioni per rappresentare il paesaggio del dissesto idrogeologico innescato e perduto dal *Disastro antropologico*.

Il paesaggio che ci viene offerto dopo ogni evento "disastroso-calamitoso-catastrofico", infatti, ci permette di leggere chiaramente la fenomenologia disastrosa nella sua stratificazione storica riconducibile non solo alla storia fisico-naturale e/o "geologica" lato *sensu*, ma alla storia delle società che sul territorio vivono agendo con un fare pericoloso. L'antropo-geografia del *Disastro antropologico* aiuta a capire molto di più se ci s'interroga, come ha fatto il "mondo" della geografia francese, sulla questione delle *Inondations (les): folies des eaux ou folies des hommes?*

INTRODUZIONE

La relazione paradigmatica del *Rischio* legato alla *Pericolosità* ha stimolato il "mondo" che va dalla geografia fisica all'idrogeologia, così come quello dell'ingegneria che ruota intorno all'idraulica e tutti hanno sviluppato ragionamenti e ricerche ricavandone i diversi livelli di rischio per beni esposti e vulnerabili al verificarsi di un evento. Il "mondo" dell'antropologia culturale, da parte sua, ha prodotto studi sull'*Antropologia dei disastri* (Ligi, 2009) occupandosi della percezione e di tutti gli altri comportamenti culturali che interpretano il "come ci si pone" rispetto alla pericolosità minacciata da un evento naturale(?!). In ogni caso, la società è rimasta sempre oscurata, distinta ed esterna alla sfera delle cause fisico-naturali. Dobbiamo ammettere che tutto ciò contiene già gli elementi di un disastro culturale che ha prodotto comportamenti devianti e devianti delle società. Diversamente, ci si propone, partendo dalla complessità di lettura del paesaggio, di coniugare la dinamica del divenire come *unicum* di azioni che si svolgono all'interno di uno spazio geografico in una prospettiva storica che si fa carico d'indagare sui processi di costruzione antropica del rischio. In breve, si pone in primo piano la costante del ruolo di pericolosità che la società stessa rappresenta in quanto agente sul territorio e

capace di determinarne essa stessa il dissesto fisico inscritto e sofferto dal paesaggio. L'evento fisico, atteso e di data intensità, resta la variabile che attiva l'impatto rischioso. D'altra parte si sa che il rischio esiste solo se interessa qualcuno (la società, appunto) e, solo diversamente, e raramente, rimane un evento naturale. Ribaltare, e sostanziare così la lettura della fenomenologia del *dissesto idrogeologico* ci pone nella prospettiva storica spazio-temporale di poter "leggere" nel paesaggio vissuto, dissestato-degradato e così via, il prodotto dell'incessante e quotidiana azione antropica. Riportare l'acqua nel proprio alveo, e lasciarla scorrere senza produrre danni, così come lasciare i terreni al proprio posto, è compito arduo qualche volta se non impossibile nella generalità dei casi, ma l'operazione "virtuale" offre indubbiamente il vantaggio di ripercorrere tutte le tappe relazionali di costruzione dello spazio geografico riappropriandosi dei valori ideali di terra e acqua nella loro accezione epistemologica, semantica, religiosa, ecc... Portare l'acqua al centro del dibattito permetterà, inoltre, di riportare la fenomenologia del dissesto-disastro all'interno della società destrutturando le deterministiche valutazioni che indicano l'acqua come castigo-maledizione collocata all'esterno del mondo vivente. Il mondo fisico-inorganico, e quello antropico-organico e culturale, sono l'*unicum* relazionale di un divenire che ci permette d'indagare sul *Disastro antropologico* quale causa originale del *Dissesto idrogeologico*.

1. TUTTA L'ACQUA CHE SI È PERSA (IL SIGNIFICATO).

A me sarebbe piaciuto, quale titolo del convegno, quello del "*Dissesto idrogeologico: il pericolo antropologico nel paesaggio italiano*". Avremmo così celebrato degnamente anche l'Unità d'Italia. E sì, perché l'etimo del dissesto idro-geologico, esprimendo già da solo un fenomeno fatto di acqua e di terra, fissa un paradigma fuorviante e falsificante che esclude ed assolve la società che vive in un tutt'uno con i due elementi naturali (?), ormai malamente antropizzati.

Nel sesto giorno Dio volle che la terra producesse tutti i tipi di animali, allora il suolo si ricoprì di animali di ogni razza e specie, di tutti

i colori e di tutte le forme: bestiame, rettili e bestie selvatiche. Dio guardò tutto quanto aveva creato e fu soddisfatto. Poi disse: «*Qualcuno coltiverà questa terra e dominerà i pesci del mare, gli uccelli del cielo e ogni essere vivente che su di essa si muove. Egli si chiamerà Adamo e somiglierà a me*». Raccolse un pugno di polvere dal suolo, plasmò l'uomo e soffiando nelle sue narici gli comunicò la vita. *Et voilà, les jeux sont faits!* (Fig.1).

Se è vero che le più diffuse religioni – dal cattolicesimo all'ebraismo, senza escludere l'islamismo – hanno fatto proprio il racconto della Bibbia sulla Creazione del mondo si deve almeno intendere che, il divino atto finale, si compì non solo raccogliendo polvere ma quantomeno argilla che, impastata con l'acqua dovette dare una plastilina che permise a Dio di essere modellata e di originare, con un soffio, *Adamo* a sua immagine e somiglianza. Dunque se acqua e terra sono all'origine del creato (la/le società) e sono l'essenza stessa dell'atto del creare, già questo è sufficiente a mettere tutto insieme in quell'*unicum* che vuole essere il *disastro antropologico* che subito dopo la creazione si compì. Il bene e il male del racconto biblico li conosciamo tutti e le loro interpretazioni-percezioni sono arrivate fino a noi. Ci sono arrivate lasciando lungo la strada tutti i valori ambigui e contraddittori che la storia ha registrato e le cui impronte ancora esistono da qualche parte lasciando ben sperare sulla loro residua resilienza.

- L'acqua che scorre in un alveo dando vita a un fiume, o la stessa acqua dei mari, per qualcuno è materia inorganica H₂O, per altri è un fluido che si muove secondo precise leggi fisiche. Tutti hanno dimenticato il suo significato di valore vitale dell'"acqua organica" capace di generare vita, come lo fu d'altronde quel *brodo primordiale* su cui la scienza ancora s'interroga.
- L'acqua di pioggia sembra non essere più quell'acqua che si aspetta per irrigare e dare vita a nuove vite, per rimpinguare falde idriche in sottosuolo, per riempire cisterne o per alimentare sorgenti da captare per la distribuzione al rubinetto.
- Il *disastro antropologico* fa dell'acqua una maledizione di Dio, o delle divinità, quando alluviona procurando disastri.

- Le alluvioni del Nilo in Egitto, così come quelle dello *Shatt al'Arab* mesopotamico tra il Tigri e l'Eufrate, hanno forgiato la cultura del "bene divino" di quei territori.
- Allo stesso modo il fiume Niger in Africa occidentale alimenta milioni di africani in quel sahel di cui tutti conosciamo i problemi; nel Niger si pesca, si viaggia attraversando deserto e sahel, ci si lava, si gioca, si fanno i propri bisogni, si dorme in *pinas*, ecc...
- Nei villaggi palafitticoli dell'ex Costa degli schiavi (Bénin) sono ancora lì i *tofinu* che vivono in simbiosi con l'acqua e, le alluvioni che hanno permesso la sopravvivenza di intere generazioni salvate dalle razzie dei negrieri, hanno costretto a vivere intere generazioni in ambiente di "terracqua". Le alluvioni, che i *tofinu* aspettano ogni anno, arrivano puntuali e sono benedette con gioia attivando i rituali *vodun* (PATTI, 2008).
- L'ambiguità dell'acqua e delle sue alluvioni si percepisce nella lettura dei diversi paesaggi d'acqua costruiti dalla storia, e dalle storie delle diverse società che hanno assegnato all'acqua valori indigeni primordiali che sono di volta in volta *vitalie fecondanti*, oltre che *sacralizzanti*.
- L'acqua è, per eccellenza, simbolo di purezza essendo così stata concepita in tutte le religioni. Il suo compito è in ogni caso quello di transitare qualcuno da situazioni di valore negativo a uno stato di valore positivo; dal non essere all'essere, dal male al bene.
- All'*hammam* ci si purifica con un bagno prima di entrare nella moschea.
- Tra i simbolismi che l'acqua esprime, il più evidente e incontestabile è l'immagine del tempo che passa; si dice che: "*ne è passata acqua sotto i ponti!*".
- Goethe, nel poema *Mahomets Gesang*, scelse la metafora opponendo la turbolenza, e la freschezza dell'acqua di torrente (lo stato giovanile della vita), alla quiete del ruscello, lento e tranquillo, che bagna la prateria (la calma e la saggezza della vecchiaia).
- Se il corso di un fiume rappresenta il corso della vita il lago esprime il simbolo non solo della purità ma anche il tempo immobile o sublime, come avviene nella tavola pittorica di *Konrad Witz* dove, il Cristo avanza sulle acque del lago *Léman*.
- I pozzi d'acqua possono essere simboli d'esclusione se il loro uso viene riservato ai soli aventi diritto, d'altronde, possono simboleggiare la via diretta per l'inferno.
- Le cisterne d'acqua nei villaggi del *sahel* sono poste fuori dalla casa affinché ogni viandante, avendone bisogno, si possa abbeverare.
- L'attraversamento di un fiume da una riva all'altra non è meno ricco di simbolismi che, talvolta, possono essere semplici come quello della relazione ostile o amicale tra le due rive. *Gettare un ponte tra due rive* è una metafora che simboleggia messaggi di pace come, il distruggere il ponte equivale a una dichiarazione di guerra.
- Nella piana sarnese il fiume Sarno segna, come altrove, un confine/frontiera che è quello tra due provincie - Napoli e Salerno - e gli argini del fiume pensile, alti 2-3 metri, contribuiscono fisicamente a segnare una discontinuità antropologica e culturale per tutta la comunità (PATTI, 1999).
- All'acqua che serve per innaffiare i giardini del Paradiso si oppone il fuoco dell'Inferno nel Corano (LII-13).
- Spargere le ceneri di cremazione al fiume significa dare continuità al ciclo della vita.
- L'acqua è gioia (paradiso) quando nutre la terra che ci fornisce da mangiare ed è maledetta (un'inferno) quando alluviona; è madre / matrigna allo stesso tempo.
- Le piene dei fiumi africani segnano ancora l'inizio dell'anno nel calendario; per il Nilo ciò avviene intorno al 20 luglio, per il *Wémé*, in Bénin, agli inizi di agosto.



Figura 1: Adamo nell'Eden divino al momento della sua creazione. http://www.fralenuvol.it/albero/bambini/bibbia/antico_testamento/creazione

- È l'acqua del mare e delle lagune che ha dato il sale all'umanità. L'acqua non si distrugge, si trasforma, è una risorsa rinnovabile ome lo è l'*acqua virtuale*.
- L'acqua ritorna come sempre sul luogo del delitto!

L'ambiguità dei valori assegnati all'acqua nella cultura dominante distingue ancora oggi il bene dal male e si spalma su tutte le società nel tempo e nello spazio del *globo-loca* (PATTI, 2011). Ambiguità e mistero nella storia del mondo dell'acqua! E per noi? Noi consideriamo l'acqua un fluido in idraulica e beviamo acqua imbottigliata mentre il fiume è solo un'idrovia sicura e veloce per smaltire i metabolismi della società. Il paesaggio fluviale ci rimanda sempre più, come nello specchio, l'immagine del degrado in-civile prodotto da un rapporto culturale fatto di opposizione ed ostilità, sopraffazione e soggiacenza, potere e costrizione.

2. L'ACQUA: UNA COLLANA DI STORIE PERICOLOSE

Esiste ancora un paesaggio tranquillizzante dell'acqua? Le inondazioni-alluvioni sono solo il risultato del cambiamento climatico e di regime pluviometrico (?) o hanno a che fare, sempre più, se non solamente, con l'"emancipazione" della società che chiede all'acqua sempre più sacrifici? In Italia, ancora una volta, veniamo da una stagione autunnale che, da Atrani in poi, ci offre un paesaggio dove l'acqua è sempre più imbrigliata, ingessata, costretta, tombata e pericolosa, insomma, non abbiamo più dove metterla; dà fastidio. Dall'alto Evo in avanti l'acqua dei fiumi è servita ad alimentare mulini e fabbriche, e non solo, fino a fornire energia elettrica a tutti. I corsi dei fiumi sono stati variamente deviati, sbarrati, fino a diventare pensili da una parte e artificializzati-canalizzati d'altra parte. Le città, le industrie e l'agricoltura ne hanno goduto, ed ancora ne godono, mentre si realizza il "fastidio" che deriva dall'ingovernabilità delle esondazioni che alluvionano tutti e tutto. Insomma, il paesaggio fluviale oramai è modellato e costretto dal continuo sforzo di governare le acque che non tengono più. Nella "collana" delle storie pericolosamente costruite possiamo individuare qui solo poche "perle" che raccontano per tutte di quel paesaggio d'acqua rubato, deturpato e malato a partire dalla ricostruzione del dopoguerra del XX secolo. Nel 1951, ci furono le alluvioni in Calabria e nel Polesine. Nel 1954, l'alluvione di Molina di Vietri colpì anche Salerno ed i Comuni della costiera amalfitana e così, saltandone qualcuna, arriviamo al 1963 con il disastro del Vajont. Qui il *Monte Toc* - contrazione del friulano "*patoc*" che significa "marcio" - franò nel bacino idroelettrico appena costruito lasciando travasare l'acqua dalla diga che procurò

circa 2000 morti, oltre i 15 già registrati in fase lavorativa. La stima dei danni, rivalutata ad oggi, si attesta oltre agli 11,00 milioni di euro; un vero terremoto del valore di una finanziaria! In quell'occasione fu raso al suolo Longarone e furono distrutti altri villaggi. Qualcuno, che non aveva ancora ricevuto il risarcimento dai danni di guerra perse la casa e/o i terreni. Una frana del monte "marcio" aveva già allertato la valle tre anni prima (novembre 1960) e, che l'area fosse tutt'altro che stabile, lo rivelarono i documenti storici risalenti addirittura al conterraneo *Catullo* che scrisse di una frana che interessò il fondovalle sbarrandolo e, sempre nella zona, si ricordano le frane storiche del 1347, 1737, 1814, 1868. Già due anni prima della tragedia, in un articolo sull'Unità del 21 febbraio 1961, la giornalista *Tina Merlin* anticipò quello che sarebbe potuto accadere nella valle denunciando la possibilità che la frana cadesse nell'invaso provocando una catastrofe. A seguito della strage del Vajont consumata il 9 ottobre 1963, la Merlin tentò poi di pubblicare un libro sulla vicenda: *Sulla pelle viva. Come si costruisce una catastrofe. Il caso Vajont*, che trovò un editore solo ventanni dopo; nel 1983 (Merlin, 1983). Il libro sulla strage del Vajont documentò i retroscena politici e gli stretti legami sia con la burocrazia statale che con gli interessi della grande industria. La pubblicazione della Merlin seguiva di dieci anni il libro pubblicato dal geologo *Marcel Roubault: Le catastrofi naturali sono prevedibili* (Roubault, 1973) e seguiva, solo di qualche anno, quello del geografo *Paolo Migliorini: Calamità naturali. Terremoti, frane, alluvioni. Forze della natura e colpe dell'uomo. Una politica per difendere il territorio* (Migliorini, 1981). Questo ed altro non bastò, e non basta ancora. Da *Catullo* ad oggi niente ha potuto fermare il *disastro antropologico* artefice della costruzione di un boomerang qual è la pericolosità del paesaggio d'acqua. Peraltro, la pericolosità, nel rapporto delle società con gli elementi naturali terra-acqua, sembra essere un esercizio ubiquitario e di sempre; e qui si ritorna ad interrogarsi sulle cause dei disastri: *folies des eaux ou folies des hommes?* A valle e a monte della pericolosa costruzione antropica vi è poi la visione tecnocentrista di sbattere in primo piano le componenti naturali del dissesto idrogeologico. In occasione delle ultime frane ed alluvioni dell'autunno 2010, ho potuto ascoltare per radio un'intervista fatta al Presidente di un'Associazione professionale nazionale il quale spiegava così la causa del disastro: "*a seguito di forti piogge intensive si riduce la resistenza al taglio dei terreni*". È vero. Ma è anche vero che dichiarazioni come questa ed altre che circolano in occasioni dei disastri, non sono altro che l'incoscienza e insostenibile tentativo di portare fuori luogo e fuori tempo

l'analisi del disastro riportandolo negli alvei dei vari tecnocratismi istituzionali che "tombano" tutto con il sigillo della scientificità. In queste occasioni il concetto di disastro viene costruito e spiegato soprattutto in termini fisici: "*piogge eccezionali che non si registravano da decenni, oggi piove diversamente per brevi ed intensi momenti (piogge torrenziali) addebitabili ai cambiamenti climatici, ecc...*"; è tutto grave, eccezionale, che coglie di sorpresa e senza alcun elemento di predittività se non quella affidata ai bollettini meteo. Per tutto il resto ci sarà la solita inchiesta giudiziaria che impiegherà anni, sempre con risultati di magra consolazione. Disastro a monte e disastro a valle chiudono il cerchio alimentando una cultura foriera di nuovi disastri come quello registrato ad Atrani dove, qualcuno, affittava il balcone a 30€ per scattare e vendere foto dello scempio! Ad Atrani, già il 14 settembre del 1988, a seguito della solita "alluvione" che nella fattispecie significa esondazione delle acque-*monnezza* del torrente *Dragone*, e dopo una riunione nella sede municipale, si decise di approntare un progetto che doveva essere finanziato in *tranches* con i fondi dell'allora "*Piano Triennale per l'Ambiente*" della Regione Campania, ecc.... La ricorrenza delle alluvioni settembrine la dice lunga. Lo stress estivo del bacino idrografico del torrente che è in territorio di Scala e Ravello, si manifesta riversando a valle (Atrani) la *monnezza* delle pressioni turistiche dell'estate dove tutti hanno fatto affari e nessuno ha provveduto a fare il proprio dovere di cittadino, cioè, quello che banalmente significa pulire le caditoie davanti casa propria, tanto ci penseranno le prime piogge che, dopo l'estate, saranno puntuali a "lavare" tutto spazzando via tutto, come al solito. E lo hanno fatto, come sempre e come altrove. In questo caso, l'unica strada di Atrani, la via dei Dogi che l'attraversa dalla spiaggia al piedimonte, è costruita sull'alveo del torrente *Dragone* tombato in sottopasso. La toponomastica, come già nel caso citato del *Monte Toc*, non ha insegnato niente; il toponimo *Dragone* indica, già dall'epoca medievale, un corso d'acqua che minaccia (Fig.2). È un omicidio colposo, se si pensa anche a tutto l'abusivismo diffuso nel bacino idrografico. La pericolosità del *Dragone* è stata da tempo "sistemata" con lo scatolare in sottopasso e la pavimentazione di sanpietrini a copertura. Bello! Poi, la forza della corrente alluvionale ha divelto tutto scagliando proiettili di pietra insieme a ramaglia ed altro ancora. Il dissesto idrogeologico, qui come altrove, si è manifestato come disastro antropologico, specchio di un'arrogante cultura del *lassez-faire* che prevede che tutto si può fare o non fare secondo le convenienze politiche, affaristiche e via dicendo. Il progetto "pilota" di protezione ambientale fu presenta-

to il 18.07.1991 nell'ambito della trasmissione televisiva *Giocchi senza frontiere* in Eurovisione da Montpellier. La Regione, il Ministero dell'Ambiente, il CIPE e il MEDSPA di Bruxelles furono gli interlocutori raggiunti dalla proposta progettuale. Si è perso tutto, il disastro è tutto questo, poi ad Atrani, piovve. Accadde nel settembre del 1988, è accaduto nel settembre del 2010! Quel giorno "partì" Francesca per le isole Eolie, trasportata da una corrente mortale e, nove mesi prima era già "partito" Carmine, lo chef di un primario ristorante di pesce, abbattuto da un masso ciclopico che staccatosi dall'alto della parete piombò proprio nella sua cucina. Il disastro antropologico non finisce e non inizia qui; ma è anche la pericolosità del tecnocentrismo e dello sciacallaggio dei tecnici specialisti e dei costruttori amici, è l'interesse conflittuale della politica politicante, è la spregiudicatezza dei mass-media nella comunicazione-spettacolo; alla fine si salva solo il volontariato che assiste il povero Cristo.

3. VULNUS: IL TALLONE DI ACHILLE.

La pericolosità del paesaggio d'acqua - il vulnerante - è un tutt'uno con la vulnerabilità il vulnus - e questo (qualcuno/qualcosa) esiste solo in funzione del verificarsi di un probabile evento pericoloso, cioè: siamo allo specchio che riflette la propria immagine. Il "tallone di Achille" sarà più o meno danneggiato in forza delle caratteristiche dell'evento e, nel tema in discussione, gli eventi pericolosi sono le frane, le alluvioni e quel mix di tutte e due le cose che sono le colate di fango (*mud/debris flow*). La vulnerabilità appartiene a qualcuno/qualcosa che si trova nelle condizioni di essere esposto all'evento pericoloso e, pertanto, ne paga le spese; si direbbe che «*se l'è andata a cercare!*». Dire che la pioggia è pericolosa non significa niente se non si relativizza il concetto che necessariamente vuole che qualcuno "passeggia senza ombrello rischiando un raffreddore!". Se la pioggia non interessa nessuno questa non è un pericolo. Dunque, non c'è rischio di bagnarsi (al verificarsi dell'evento-pioggia) se non si è sorpresi all'aperto senza ombrello (esposizione-vulnerabilità-valore di qualcosa/qualcuno). Tutto qui. Sembra tutto chiaro e lapalissiano. Il concetto di rischio che viene fuori, istituzionalizzato dall'equazione di David J. Varnes in un rapporto UNESCO (1982), viene espresso semplicemente come segue: $R = E (P \times V)$. La pericolosità (P) a cui ci si riferisce è quella che un evento "naturale" possa verificarsi con una data intensità, in una data area e in un certo periodo, la vulnerabilità (V), rappresenta il grado di danno atteso che può essere espresso con una scala variabile da 0 (nessun danno) a 1 (distruzione) ed (E) è la qualità-valore degli elementi esposti a rischio; la società con tutte le sue produzioni. Il "Disastro di Varnes" è datato di circa



Figura 2: La minaccia di un "Drago alpino" in una stampa agli inizi del XVIII secolo.

trentanni e "molta acqua è passata sotto i ponti" molti danni al paesaggio d'acqua sono stati perdurati ed aggravati, la variabile di pericolosità naturale è stata sopraffatta dalla costante di pericolosità antropica la cui quotidiana produzione viene espressa dal valore dei beni esposti. Bisogna aggiornare la filosofia dell'equazione che fino ad oggi ci ha orientato. Qualcuno, come il geografo David E. Alexander l'ha fatto occupandosi in particolare della vulnerabilità ritenendo che, la *Vulnerabilità del paesaggio antropizzato* = $R_a - R_m \pm R_p$: dove, R_a = amplificazione dovuta all'insieme di conseguenze dovute alla cattiva pianificazione e negligenza nell'applicazione delle norme per l'edificazione in zone pericolose. R_m = funzione di mitigazione del rischio costituita da opere di efficace pianificazione ed uso corretto delle giuste misure di sicurezza nell'edificazione. R_p = percezione del rischio che tende ad essere condizionata dalla cultura antropica. Come per la vulnerabilità, storicizzare l'esposizione del paesaggio vuol dire anche ricostruire la storia politica che ha interessato il territorio, quella economica, culturale

ed affettiva, dunque sociale della comunità. Allo stesso tempo, si ricostruisce l'evoluzione geomorfologica, climatica ed ecologica dei luoghi indiziati o colpiti da catastrofi. Contro gli atteggiamenti inclini al riduzionismo tecnocentrismo, al fatalismo irresponsabile, o al catastrofismo ideologico, svelare con l'etnografia la struttura diacronica processuale dell'evento estremo e accettare la sfida teorica di comprenderne l'ineludibile storicità sono la principale condizione di possibilità per prevenire e comprendere il disastro. Quando manca tutto ciò siamo al *Disastro antropologico!* In tutte le attività antropiche c'è l'accettazione di un rischio a fronte della contropartita di un beneficio; insomma, c'è una valutazione dei costi e dei benefici. Già Roberto Almagià motivava in *Studi geografici sulle frane in Italia. 1907-1910*, il sentimento della "carità natio loco" interpretata da quel duplice paradosso delle catastrofi per il quale si riscontra sia l'atteggiamento, in apparenza irrazionale di chi non vuole abbandonare la propria casa, sia il profondo desiderio, parimenti irrazionale, di chi vuole tornarci dopo un'evacuazione

forzata. D'altra parte se i danneggiati, o danneggiabili (in situazioni di rischio annunciato e storicizzato) non se ne vanno è perché non se ne possono andare; non sanno dove andare. La vulnerabilità è anche di classe se colpisce sempre e solo il povero Cristo. Gli investimenti in area vesuviana dei soldi della camorra sono a rischio Vesuvio, ma chi se ne frega!, sono investimenti di soldi sporchi che si recupereranno come soldi puliti e poi, intanto si fanno affari. Anacronisticamente il pericolo diventa una risorsa, come il gioco d'azzardo al Casino! C'è una soglia del disastro che limita il rischio e rende la vulnerabilità tollerabile da quella intollerabile e, le società, decidono arbitrariamente qual è il livello di rischio tollerabile tanto; il rischio, è solo un concetto probabilistico-aleatorio: il suo impatto si materializzerà solo se l'evento ci sarà, e nessun buon cristiano se lo augura. Noi ci auguriamo invece solo che, la resilienza dell'acqua, sia ancora lì, fiduciosa, ad aspettarci per riprendersi dagli stress.

CONCLUSIONI; RISCHIOSE E PROVVISORIE

Come conciliare la *pericolosità antropica* con il rischio che interessa l'esposizione-vulnerabilità? Evidentemente è una contraddizione in termini, bisogna arrestare l'una per annullare l'altra. Diversamente, due-tre cose si possono avanzare.

-La prima è quella che suggerisce di starsene fermi nell'immaginare nuovi interventi, mi pare il minimo decente. Bisogna fare un viaggio all'incontrario convivendo con le scelte pericolose fatte lungo il cammino e recuperando la forza di attivare filosofie e strumenti di condivisione con l'altra parte, cioè, lavorare per recuperare e rinforzare la resilienza del paesaggio d'acqua nel suo ciclo vitale. Starsene fermi, mentre il mondo viaggia inesorabilmente, significa recuperare un "*futuro indigeno*" (Martufi e Vasapolo, 2009) che ci lasci disincantati dall'accelerazione che ogni giorno imprime il globo-loca. Il mondo va avanti e non conosce frontiere di comunicazione, non si può arrestare e noi non possiamo gridare "*Fermate il mondo... voglio scendere*" piuttosto, possiamo scegliere di non essere viaggiatori di quel convoglio.

-Una seconda cosa è quella di lavorare per la mitigazione d'impatto degli eventi sui "beni" esposti; abbassare il rischio con la messa in sicurezza. Questo può significare attivare incentivi per interventi attivi e passivi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità-esposizione arginando quegli interventi emergenziali che vengono attivati ogni volta con la "*Dichiarazione dello stato di calamità naturale*". Si potrebbe spendere meno facendo prevenzione e dare più dignità d'azione alla Protezione civile ed al volontariato. Sterrare le strade asfaltate in aree alluvionabili e nei paleo-alvei pedemontani, sarebbe già un contributo alla

corrivazione ed alla permeabilità, oltre che alla FIAT che potrà produrre i suoi SUV con un perfetto alibi per giustificare l'uso sconsiderato di un'americanata. A Los Angeles si pensa di trasformare la superficie urbana asfaltata più grande del mondo in una città porosa che, facendo da contrasto alle inondazioni, ricarica le falde. L'abbattimento degli argini fluviali nelle piane alluvionali è sicuramente un'idea coraggiosa che va perseguita, mi pare un'altra buona cosa. In Mesopotamia lo si sta facendo abbattendo gli argini di *Saddam*, connettendo i canali di drenaggio e ricostruendo le paludi dello *Shatt al'Arab*. Usare il disastro alluvionale per impiantare e alimentare colture irrigue oltre che per rimpinguare gli acquiferi in sottosuolo è una benedizione. Sicuramente dovremmo usare meno cemento, che è stata una soluzione per tutto e per tutti (!) lungo un cinquantennio dal secolo scorso e sarà ancora il problema del XXI secolo.

-La terza cosa sarebbe quella di assicurare l'esistente pericoloso pensando alla polizza assicurativa. La cosa non è semplice, ma bisogna provarci con convinzione. Lo si prova da tempo, dal tardo Medioevo quando nacquero i primi gruppi di Assicuratori nelle grandi città europee per la tutela dei mercanti navigatori del Mediterraneo e del baltico. Qui da noi fu l'area ligure-toscana ad attivare i primi contratti assicurativi nel XIII e XIV secolo, poi seguì Venezia con la *Serenissima* fino alla compagnia degli *Assicuatori in Venezia* del XVII secolo. Era il "*pretium periculi*" di romana memoria. Le assicurazioni dell'epoca erano pure vietate in quanto somigliavano ad un gioco "rischioso", di azzardo, dove si scommetteva e perciò si poteva vincere o perdere. Si discuteva anche sul vizio capitale delle Assicurazioni come soggetti usurari. Nel XVI secolo nacque la prima assicurazione contro il rischio d'incendio degli opifici di birra di Amburgo. Alla fine del XVII secolo nel caffè del signor *Lloyd* nacquero i *Lloyd's Corporation*. Assicuravano tutti contro tutto fino ai danni da bombardamento nella Grande Guerra; poi fecero marcia indietro quando, nella seconda guerra mondiale, l'attività presentò un rischio insostenibile.

Bisogna darsi una mano e battere forte alle porte della politica per dire che non si è più disponibili ad essere sciacalli aspettando le sciagure umane per lavorare, questo può valere per i terremoti, e non speriamo niente dal vulcanesimo. Il dissesto idrogeologico è una condizione della politica che non può fermare le piogge o cambiarne il regime, che non può cambiare gli assetti geomorfologici della terra ma può fermare il malcostume, la burocrazia ed il burocratese dei Ministeri oltre che il tecnocratismo dirigenziale. È ora di ri-pianificare le pianificazioni territoriali alle diverse scale, nazionali, regionali e comuna-

li. I PUC e i PTR non devono essere solo un affare per pochi ma un'occasione per tutti, per ridare ossigeno all'acqua putrida facendo leva sulla residua resilienza. Gli urbanisti devono interloquire con gli altri tecnici conoscitori della materia liquida e dei suoi valori ai diversi livelli. Con l'acqua ci si ristora, ci si rivitalizza, si gioca, si vive... Ricostruire paesaggi d'acqua per ospitare le piene, ricomvertire l'agricoltura periferuale con aree allagabili, incentivare le delocalizzazioni di manufatti vulnerabili, pensare a costruzioni su *pilotis* per superare gli allagamenti, valutare le compensazioni dei diversi pesi idrogeologici da riportare nelle normative, incentivare operazioni consortili di mitigazione del danno, studiare piani locali di polizze assicurative contro il rischio con la partecipazione pubblico-privato, ecc... Insomma avere il coraggio di una vera rivoluzione culturale. *Con la cultura non si mangia*, è vero, ma si vive da signori. Poi, per la ricerca, ci si può riferire alla riforma universitaria, per la tutela del paesaggio bisogna aspettare tempi migliori e, per il patrimonio storico-culturale, vedi Pompei. Il Presidente Napolitano, in un'intervista del 10 Novembre 2010, ha dichiarato che. «...*dobbiamo preoccuparci per quella incuria umana, terribile, che porta al dissesto idrogeologico dei nostri territori*». Nell'anno di celebrazione dell'Unità d'Italia gli potremmo suggerire di completare così: «Il paesaggio del *dissesto idrogeologico* riconosce il *disastro antropologico* quale causa diffusa e unificante dell'Unità d'Italia».

BIBLIOGRAFIA (PER SAPERNE DI PIÙ)

- ORAZIO PATTI, *Non solo x fame*. Booksprint Edizioni. Collana di Antropologia, 2011.
- RITA MARTUFI-LUCIANO VASAPOLO (a cura di), *Futuro indigeno*, Jaka Book, 2009.
- Gianluca Ligi, *Antropologia dei disastri*, GLF-Editori Laterza, 2009.
- ORAZIO PATTI, *Perle e palafitte. Lagunari allo specchio tra Africa nera e Mediterraneo*, Besa Editrice, Collana Verba Mundi, 2008.
- FRED PEARCE, *Un pianeta senz'acqua. Viaggio nella desertificazione contemporanea*, Il Saggiatore, 2006.
- MOHAMED LARBI BOURGUERRA, *Les batailles de l'eau*. Enjeux Planète, 2003.
- ORAZIO PATTI, *Sarnoi/Sarnoilsarnese: ecogeografia dell'acqua dai disastri alla risorsa*, Edizioni Scientifiche Italiane, 1999.
- ALAIN ROGER, *Breve trattato del paesaggio*. Sellerio, 1997.
- ALBERTO MARINELLI, *La costruzione del rischio. Modelli e paradigmi interpretativi delle scienze sociali*, Franco Angeli, 1993.
- TINA MERLIN, *Sulla pelle viva. Come si costruisce una catastrofe. Il caso Vajont*, Edizioni La Pietra, 1983.
- PAOLO MIGLIORINI, *Calamità naturali. Terremoti, frane, alluvioni. Forze della natura e colpe dell'uomo. Una politica per difendere il territorio*, Editori Riuniti, Libri di base, 1981.
- MARCEL ROUBAUT, *Le catastrofi naturali sono prevedibili*, PBE, 1973.

Modellizzazione della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico nel Rio San Girolamo di Capoterra (Sardegna SW)

FRONGIA P.
Dottorando di Ricerca in Difesa del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica, Università di Cagliari

PIRAS G.
Progetto Giovani Ricercatori – PO Sardegna FSE 2007-2013, L.R. 7 agosto 2007 n. 7 «Promozione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica in Sardegna»

SCIONIS N.
Libero professionista, Cagliari

RIASSUNTO

Attraverso l'analisi dei fattori fisici che influenzano maggiormente i processi di degradazione subaerea della roccia (litologia, densità di drenaggio, acclività ed esposizione dei versanti), biologici ed antropici (uso del suolo e copertura vegetale), è stato possibile individuare, nel bacino del Rio San Girolamo (Capoterra, Sardegna SW), le zone caratterizzate da diverso grado di suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico e, conseguentemente, valutare le principali aree di produzione del carico solido movimentabile durante gli eventi estremi dalle acque superficiali e da quelle incanalate. Per tale valutazione è stato applicato un modello concettuale che si avvale del metodo dell'*overlay* dei dati in formato *raster* sviluppato in ambiente GIS.

ABSTRACT

Through analyzing of physical factors that most influence the degradation processes of subaerial rock (lithology, drainage density, slope steepness and exposure), biological and anthropogenic (land use and vegetation cover), could be identified in the Rio San Girolamo basin (Capoterra, SW Sardinia), areas with different degrees of susceptibility to erosion and geological instability and, consequently, assess the main production areas of the solid load handled during extreme events from surface waters and those channeled. For this evaluation we applied a conceptual model that uses the method of the overlay data in raster format developed in GIS environment.

PREMESSA

Nel presente contributo viene descritta la metodologia applicata per la valutazione della suscettibilità all'erosione superficiale e al dissesto idrogeologico nel bacino del Rio San Girolamo, in territorio di Capoterra (Sardegna Sud-Occidentale) (Fig. 1). A partire da dettagliate informazioni di base tratte dalla letteratura, dai rilevamenti in campagna ed una approfondita analisi delle riprese fotografiche aeree, attraverso

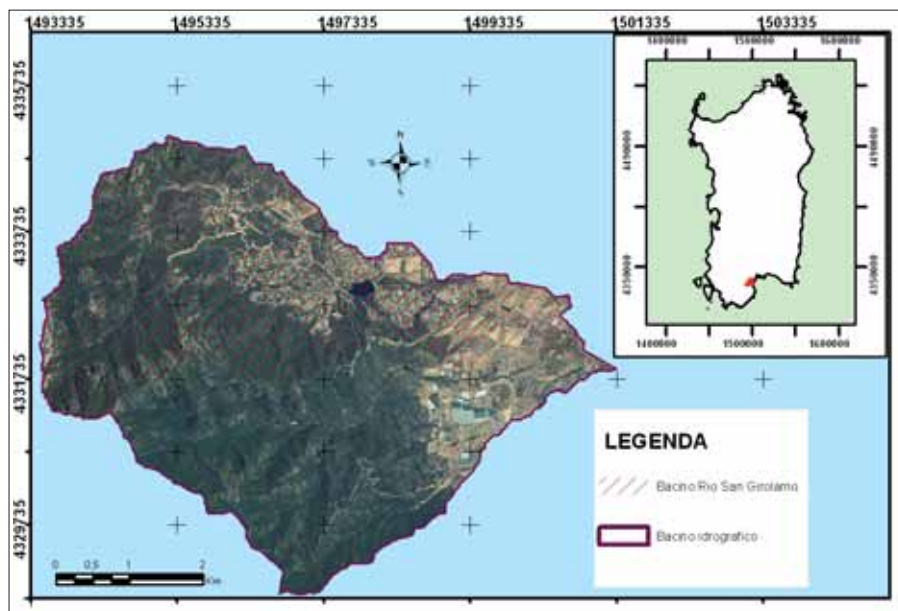


Figura 1 – Ortofoto con delimitazione del bacino del Rio San Girolamo di Capoterra (Sardegna SW).

la sovrapposizione dei livelli informativi relativi ai fattori fisici, biologici ed antropici che concorrono alla predisposizione del substrato roccioso e delle coperture all'erosione (litologia, geomorfologia, uso del suolo, densità di drenaggio, acclività ed esposizione dei versanti), con l'uso di metodi di *overlay* cartografico, è stato possibile individuare le zone maggiormente suscettibili ai fenomeni di degrado e dissesto, in particolare correlabili con i processi di versante e gravitativi e quelli legati al deflusso delle acque superficiali.

CARATTERI GEOLOGICI DELL'AREA D'INDAGINE

Il bacino afferente il Rio San Girolamo di Capoterra (15,25 km²), inserito in un più ampio bacino idrografico avente una superficie di 27,10 km² che comprende anche un altro importante corso d'acqua, il Rio Masone Ollastu, è caratterizzato essenzialmente da litologie correlabili con le successioni paleozoiche, metamorfiche e granitiche, e con depositi quaternari alluvionali, di versante e di deposito costiero.

Le sequenze metamorfiche paleozoiche, affioranti nel settore nord-occidentale del bacino sono caratterizzate da alternanze di

metaconglomerati, metarenarie, metaquarziti, metapeliti e metasiltiti (Barca et al., 1981; Barca et al., 1986; Carmignani et al., 1992). Il complesso magmatico, attraversato da filoni di quarzo, pegmatite e porfido, costituisce gran parte del bacino imbrifero nel settore montano del Rio San Girolamo; è rappresentato da graniti a biotite con struttura granulata, grana media e colore rosato, databili al Carbonifero superiore – Permiano (Bralia et al. 1981).

Per quanto riguarda le coperture quaternarie, i *glacis* conglomeratici (Pleistocene inf.), addossati ai rilievi paleozoici, costituiscono un'ampia coltre sedimentaria che interessa gran parte del substrato nel settore pedemontano del Rio San Girolamo; sono caratterizzati da clasti di granito e scisto, con matrice argillosa, aventi spessore variabile da 4 a 10 m.

Le alluvioni antiche (Pleistocene inf.-medio; interglaciale *Mindel-Riss*), terrazzate, ben costipate e piuttosto alterate, affioranti in gran parte della piana di Capoterra, si rinvencono lungo le sponde del tratto vallivo interno del Rio San Girolamo; sono costituite da livelli limosi e sabbiosi alternati a conglomerati a ciottoli ben arrotondati di granito e scisto, con matrice argilloso-sabbiosa.

Le alluvioni recenti (Pleistocene medio-sup.), prevalentemente sciolte, affiorano nel fondovalle nel tratto prossimo alla foce del Rio San Girolamo e sono costituite da depositi poco costipati e debolmente alterati di conglomerati in matrice sabbiosa, con alternanza di livelli sabbiosi e limosi.

Lungo l'alveo dei corsi d'acqua si rinvengono depositi alluvioni attuali (Olocene) caratterizzati da ciottoli incoerenti di varia dimensione che, soprattutto nei tratti più a valle, si arricchiscono di frazioni arenacee e argillose. Infine, lungo la costa e nelle aree immediatamente retrostanti affiorano i depositi di spiaggia recenti e attuali.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il bacino del Rio San Girolamo è caratterizzato da tre principali unità geomorfologiche. Nelle aree più interne sono presenti i rilievi metamorfici e granitici paleozoici, piuttosto aspri e frastagliati, culminanti in vette aventi quote superiori a 700 m s.l.m. (M. Conchiori, q. 738; P.ta is Postas, q. 612 m; P.ta su Aingiu Mannu, q. 605 m; M. S. Barbara, q. 612 m), incisi da profondi canaloni e valli a V, ai quali si innesta un articolato reticolo torrentizio di tipo subdendritico. A quote comprese tra 100 e 200 m s.l.m. il territorio è contraddistinto da forme ondulate modellate prevalentemente sui graniti alterati e fratturati. L'unità geomorfologica presente a quote minori, impostata in depositi quaternari di *glacis*, in alluvioni antiche e recenti, è caratterizzata da superfici tabulari lievemente acclivi o debolmente ondulate, per lo più in forma di terrazzi alluvionali.

Per quanto riguarda le dinamiche morfogenetiche, si riconoscono, nelle aree più

interne, processi di dilavamento legati al deflusso delle acque di ruscellamento areale ed una marcata incisione torrentizia del substrato granitico e metamorfico, come evidenzia l'elevata densità di drenaggio. Il settore a quote più elevate, dove è più accentuata l'energia di rilievo, per le caratteristiche morfo-strutturali e la scarsa o assente copertura vegetale, è localmente interessato da processi gravitativi che si manifestano con fenomeni di crollo, estesi accumuli detritici di falda lungo i versanti e formazione di *debris flow* in occasione di eventi pluviometrici estremi.

I materiali sciolti, mobilizzati dalle acque di deflusso areale o incanalato, soprattutto in occasione di eventi meteorici rilevanti, alimentano il carico solido dei corsi d'acqua conferendo a questi, lungo il percorso, un elevato potere erosivo.

Alle quote minori il territorio, pianeggiante o leggermente ondulato, è interessato prevalentemente dall'azione delle acque di dilavamento diffuso, comunque a basso impatto, considerata la modesta acclività, mentre l'erosione operata dalle acque incanalate nelle aste principali e secondarie, sempre in occasione di eventi estremi, determina processi di scalzamento basale e smottamenti spondali, oltre all'ulteriore incisione dell'alveo in prossimità dei rilievi e, come appunto è avvenuto il 22 ottobre 2008, fenomeni di alluvionamento piuttosto estesi con intensa sedimentazione nella piana costiera.

COSTRUZIONE DEL DATABASE GEOGRAFICO-FISICO

Al fine di acquisire i parametri geo-ambientali ritenuti influenti per la valutazione

della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico è stato dapprima predisposto un database geografico-fisico costruito attraverso la raccolta e l'elaborazione di dettagliate informazioni di base tratte dalla letteratura, da una approfondita analisi delle riprese fotografiche aeree e dai rilevamenti in campagna. Le informazioni acquisite ed elaborate hanno consentito, seguendo lo schema metodologico indicato nella Fig. 2, di predisporre gli strati informativi relativi alla litologia, alla geomorfologia, all'uso del suolo, alla densità di drenaggio, all'acclività e all'esposizione dei versanti (Fig. 3).

L'analisi territoriale effettuata tramite il confronto tra le immagini ortofotogrammetriche riferite alle riprese del 2006 e quelle immediatamente successive l'eccezionale evento alluvionale del 22 ottobre 2008, che si è manifestato con ben 370 mm di pioggia in circa 4 ore, ha consentito il confronto tra le condizioni di base predisponenti e gli effetti derivanti il manifestarsi dell'evento estremo, opportunamente verificati mediante sopralluoghi effettuati *in situ*. In particolare, tale raffronto ha permesso di verificare le condizioni litologiche e geomorfologiche di influenza nella predisposizione alla degradazione superficiale e riconoscere gli effetti correlabili con i relativi fenomeni di versante, con quelli di natura gravitativa, nonché con quelle che condizionano l'erosione, il trasporto e la sedimentazione ad opera delle acque incanalate.

Le verifiche effettuate in loco, riassunte nella Carta della geomorfologia e dei dissesti (Fig. 4), hanno consentito di constatare gli effetti relativi all'evento estremo e, in particolare, di rilevare una consistente produzione di *debris-flow* lungo le incisioni torrentizie di

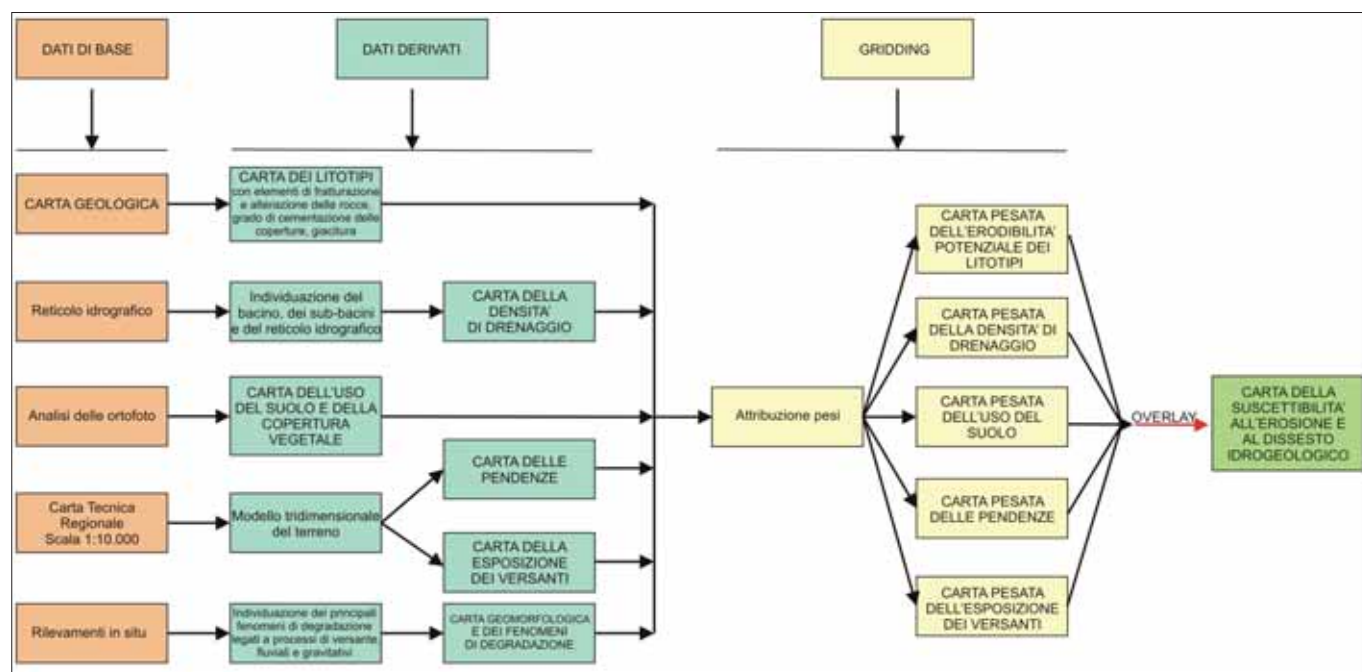


Figura 2 – Modello concettuale per la valutazione della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico.

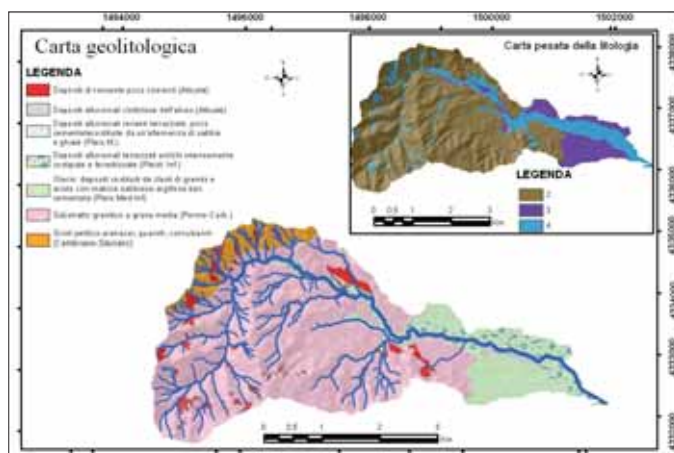


Figura 3a – Carta geologica e Carta pesata della litologia.

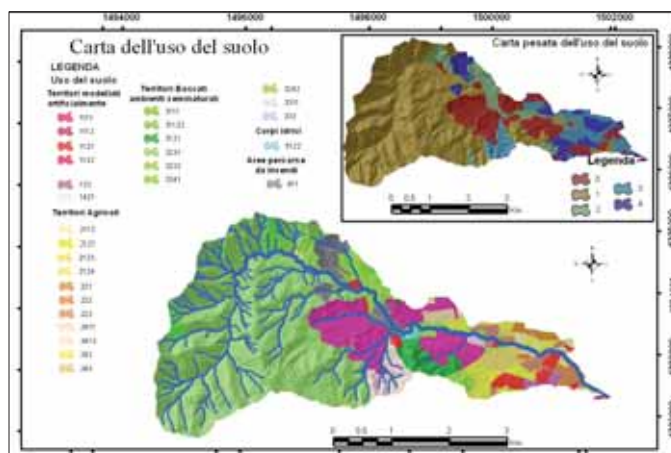


Figura 3b – Carta dell'uso del suolo e Carta pesata dell'uso del suolo.

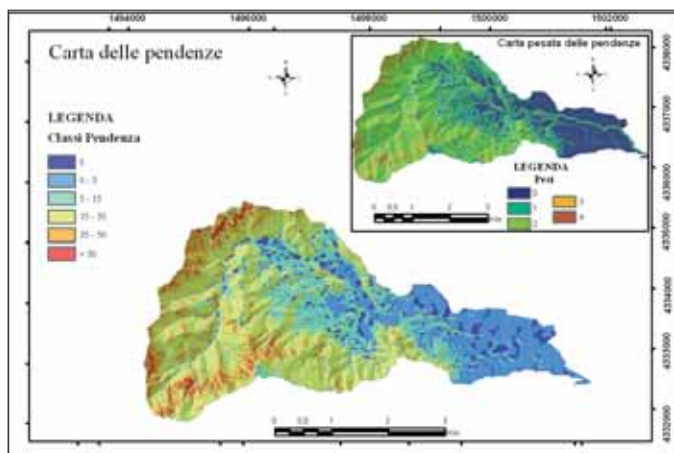


Figura 3c – Carta delle pendenze e Carta pesata delle pendenze.

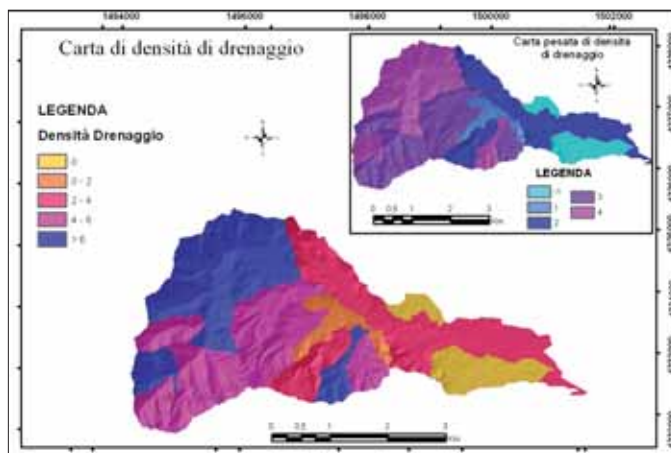


Figura 3d – Carta della densità di drenaggio e Carta pesata della densità di drenaggio.

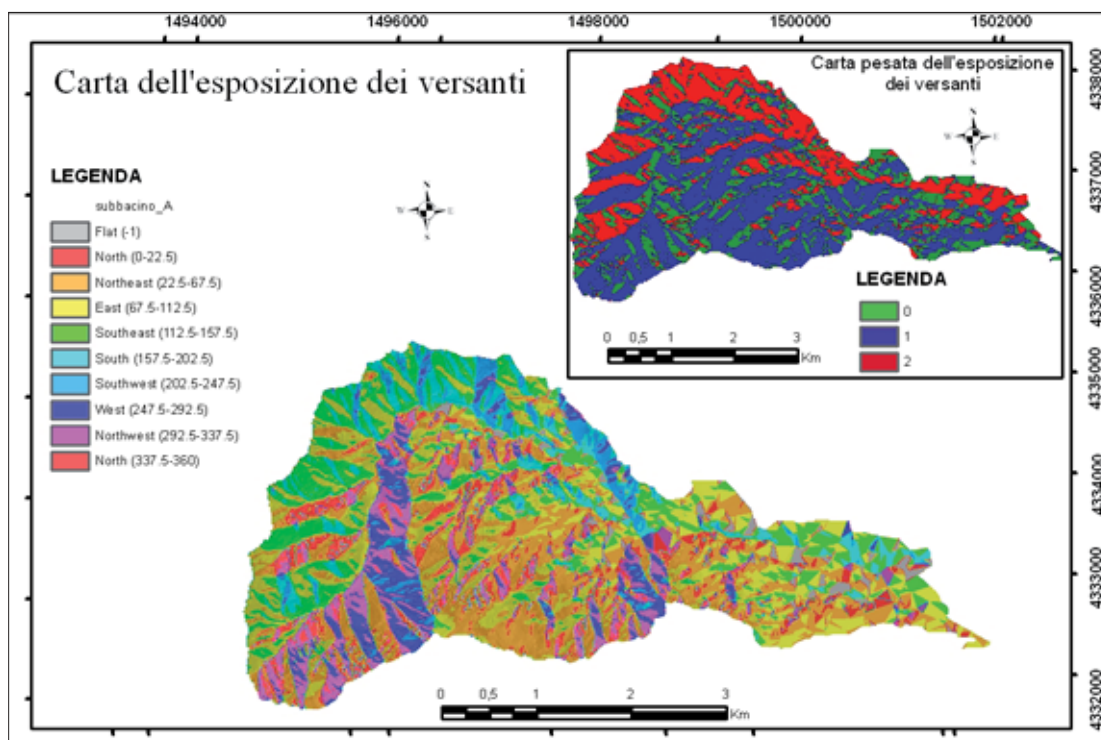


Figura 3e – Carta dell'esposizione dei versanti e Carta pesata dell'esposizione dei versanti.

ordine minore e di falde detritiche nei versanti acclivi, oltre alla reincisione dei depositi prevalentemente ciottolosi presenti nelle sponde e nell'alveo del corso d'acqua principale e degli affluenti.

Dalle aree ubicate a quote più elevate, in corrispondenza delle sommità dei rilievi ca-

ratterizzati da roccia affiorante, in particolare di natura metamorfica, è stato riconosciuto l'apporto maggiore di componente solida derivante da processi di degradazione meteorica e da fenomeni di distacco di blocchi e di crollo. I graniti, generalmente più compatti, risultano caratterizzati da marcati fenomeni

di degradazione in corrispondenza degli affioramenti interessati da intensa fratturazione, che localmente si presentano scomposti in forma di grossi prismi parallelepipedi soggetti soprattutto a ribaltamento. Lo stesso litotipo risulta localmente interessato da marcati processi di arenizzazione che si manifesta con

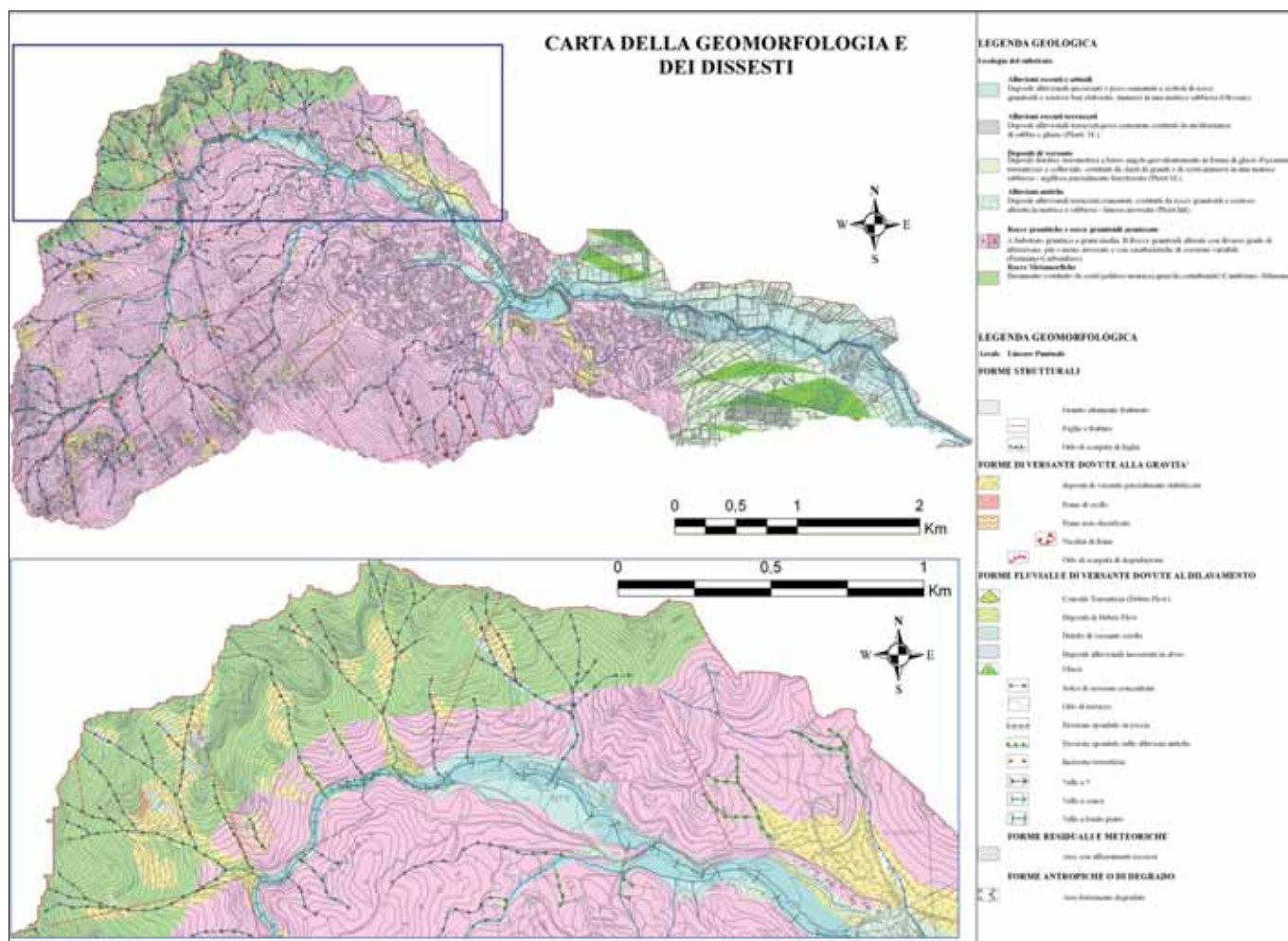


Figura 4 – Carta della geomorfologia e dei dissesti.

produzione di coltri sabbiose a componente prevalentemente quarzosa, facilmente mobilizzabili dalle acque di dilavamento.

Si osserva, in particolare, la presa in carico e il trasporto ad opera dell'asta principale e dei torrenti tributari di materiali solidi da grossolani (con blocchi di dimensioni metrica) a ciottoli, ghiaie e sabbie grossolane, fino a rilevante carico in sospensione. L'innesto dei torrenti tributari con il ramo principale del corso d'acqua è spesso interessato dalla presenza di scariche detritiche, in forma di conoide, aventi componente prevalente grossolana, da ciottolosa a grossi blocchi, sia di natura granitica sia derivante da rocce metamorfiche.

Ripe di erosione con fenomeni di scalzamento basale si rinvencono nelle sponde esterne dell'asta principale del Rio e denotano l'avvenuta rimobilizzazione di coltri sedimentarie alluvionali eterometriche deposte in precedenza e costituenti parte del carico solido trasportato in occasione dell'ultima piena alluvionale; le stesse vengono poi ridistribuite lungo lo stesso alveo.

Nel complesso, inoltre, è stato osservato che i versanti esposti a NNW, grazie alla presenza di vegetazione più fitta, mostrano una maggior stabilità nei confronti dell'erosione, a differenza di quelli aventi esposizione SSW,

più aridi e meno interessati da copertura vegetale, più facilmente interessati da processi di degradazione superficiale.

SUSCETTIBILITÀ ALL'EROSIONE E AL DISSESTO IDROGEOLOGICO: MODELLO CONCETTUALE

La valutazione della suscettibilità all'erosione superficiale e al dissesto idrogeologico nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra è stata condotta attraverso l'applicazione di un modello matematico elaborato con il metodo dell'*overlay* di dati in formato *raster*. A partire dal database geografico predisposto, contenente dati sulla litologia, la geomorfologia, l'uso del suolo, la densità di drenaggio, l'acclività e l'esposizione dei versanti, sono state tratte le informazioni ritenute influenti per la valutazione delle condizioni di predisposizione e attivazione dei processi di degradazione superficiale.

Per la valutazione della suscettibilità, in particolare, è stato adottato un modello logico di dati numerici che, a partire dalla suddivisione in classi di attitudine dei parametri geomorfologici prescelti, in un campo di variabilità opportunamente adattato alla tipologia di componente considerata, ne sommano i valori assegnati, dopo averli convertiti in formato *raster*, secondo un metodo di *map algebra*. Il

criterio dell'addizione ha consentito la definizione di un *raster* finale i cui valori risultanti, dopo un'operazione di riclassificazione, ha permesso di individuare le aree suscettibili all'erosione e al dissesto distinte nelle classi scarsa/molto bassa, bassa, media, elevata, molto elevata.

Il modello concettuale di valutazione della suscettibilità all'erosione ha previsto, per ogni livello informativo considerato, l'assegnazione di un fattore che, sostanzialmente, ne identifica il relativo peso di influenza, stabilito e calibrato sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio esaminato e, soprattutto, delle evidenze riscontrate sul terreno a seguito di particolari eventi meteorici e riportate nella Carta della geomorfologia e dei dissesti riscontrati. Seguendo questo criterio, la suscettibilità all'erosione è stata individuata dall'espressione: $Suscettività = 0,35G+0,10U+0,30A+0,15D+0,10E$ (G-Geolitologia, U-Usò del suolo, A-Acclività dei versanti, D-Densità di drenaggio, E- Esposizione dei versanti).

APPLICAZIONE DEL MODELLO - RISULTATI

L'elaborato di sintesi derivante dall'applicazione della metodologia sopra esposta nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra

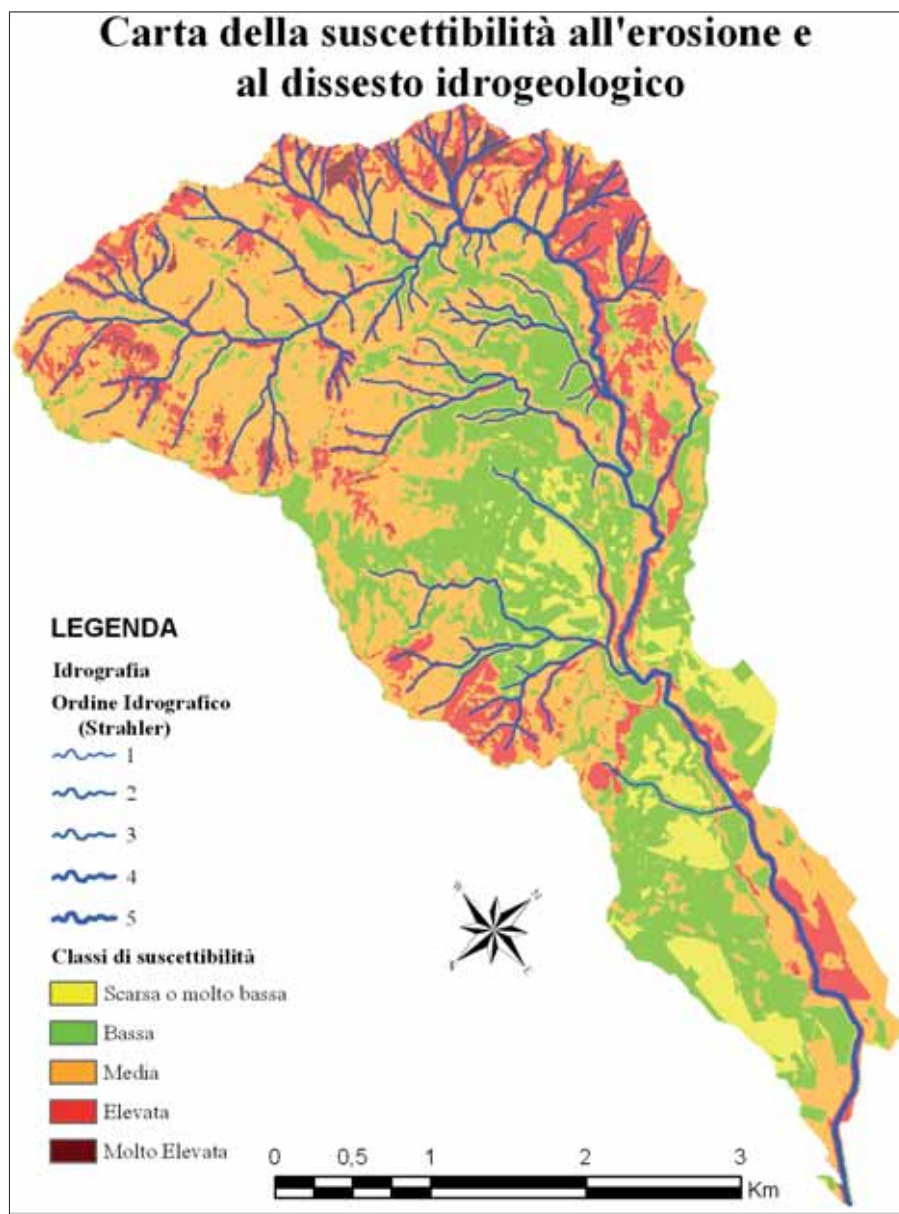


Figura 5 – Carta della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico.

(Fig. 5) ha consentito il riconoscimento, sulla base dei caratteri geologici, geomorfologici e, in genere, dei fattori di esposizione ai fenomeni di degradazione, delle aree predisposte ai processi di erosione superficiale e dissesto idrogeologico. Queste, sono state distinte in diverse classi di suscettibilità in base alla entità di produzione di materiali di disfacimento, potenzialmente mobilizzabili dalle acque di deflusso superficiale, areale o incanalate, in occasione di eventi meteorici estremi.

Dal lavoro svolto, e in particolare dalla sintesi cartografica, è evidente una netta distinzione tra l'unità fisiografica più interna, impostata in litologie granitico-metamorfiche, caratterizzata da quote più elevate e marcata energia di rilievo, alta densità di drenaggio e più alti livelli di esposizione ai fenomeni di degradazione, e le unità a quote minori, da collinari a debolmente acclivi fino a pianeggianti, contraddistinte da classi di suscettibilità all'erosione e al dissesto contenute.

Le condizioni predisponenti legate soprattutto alla natura geologica della roccia, all'acclività dei pendii e all'esposizione dei versanti, consentono di individuare nei rami di ordine minore e nei versanti che ne definiscono il bacino idrografico elementare le aree contraddistinte dalle classi più rilevanti di suscettibilità. Un analogo elevato grado di predisposizione al dissesto si riscontra lungo le aste torrentizie di ordine maggiore, nel basso versante del Rio San Girolamo, in particolare lungo la sinistra idrografica, in considerazione dei fattori predisponenti quali la presenza di coperture detritiche e, localmente, l'accentuata acclività.

In conclusione, il *raster* finale derivante dall'*overlay* degli strati informativi ritenuti fondamentali per l'individuazione delle aree suscettibili all'erosione e ai processi di dissesto idrogeologico consente di individuare, in sostanza, i contesti del paesaggio fisico maggiormente esposti. Per tale motivo, questo tipo di approccio metodologico può

risultare fondamentale nella pianificazione e nell'uso del territorio e nelle attività di previsione e prevenzione del rischio geambientale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. Felice Di Gregorio, Responsabile del Centro di Competenza Tecnologica su Analisi e Prevenzione del Rischio Ambientale della Sardegna (CCT APRAS), per i suggerimenti e la lettura critica del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- BACCHETTA G., PILI D., SERRA G. (2003), *Analisi del paesaggio e della suscettibilità all'erosione dei suoli nel bacino idrografico del Rio Santa Lucia (Sardegna sud-occidentale)*, Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol., 80 (2003), 67-72.
- BARCA S., COCOZZA T., DEL RIO M., PITTAU DEMELIA P. (1981), *Discovery of Lower Ordovician Acrictarchs in the "Postgotlandiano" sequence of southwestern Sardinia (Italy): age and tectonic implications*, Boll. Soc. Geol. It., 100, 377-392.
- BARCA S., COCOZZA T., LEONE F. (1986), *Il Paleozoico dell'area di San Leone: nuovi dati stratigrafico-strutturali (Sulcis, Sardegna SW)*, Boll. Soc. Geol. It., 105, 21-26.
- BRALIA A., GHEZZO C., GUASPARRI G., SABATINI G. (1981), *Aspetti genetici del batolite sardo-corso*, Rend. Soc. It. di Miner. e Petrol., 38(2), 701-764.
- CARMIGNANI L., PERTUSATI P.C., BARCA S., CAROSI R., DI PISA A., GATTIGLIO M., MUSUMECI G. & OGGIANO G. (1992), *Struttura della catena ercinica in Sardegna. Guida all'escursione*, Editò dal Gruppo Informale di Geologia Strutturale, Centrooffset Siena dicembre 1992, pp. 177.
- CICCU R., MANCA P.P., DI GREGORIO F. (1994), *Propensione al dissesto idrogeologico in Sardegna: analisi storica degli eventi ed aspetti metodologici*, Atti del IV Convegno Internazionale di Geoingegneria, Difesa e Valorizzazione del suolo e degli acquiferi, Vol.1, 73-85.
- CINIS D. (2008), *Il trasporto solido nei torrenti del Sarrabus e del Rio San Girolamo di Capoterra*, in "Il Geologo" periodico quadrimestrale dell'Ordine dei geologi della Sardegna, anno XV, n. 3, 12-21.
- DI GREGORIO F., PUSCEDDU M., SERRELLI A. (2006), *Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologia nel bacino del Rio Pula*, X Conferenza nazionale ASITA - Federazione delle associazioni scientifiche per le informazioni territoriali e ambientali, Bolzano, Novembre 2006.
- LAI M.R., LODDO S., PUDDU R., SERRA G. (1995), *Lo studio geopedologico nella pianificazione degli interventi di difesa del suolo e di mitigazione della desertificazione. Salvaguardia della risorsa pedologica nel quadro della legge n. 183/89: il bacino del Rio Santa Lucia di Capoterra*, Atti del Convegno "Il ruolo della pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio", Cagliari, 6-10 giugno 1995, 351-354.
- PALA A. (1983), *Studio geoidrologico della Piana di Capoterra (Sardegna meridionale)*, Rendic. Semin. Fac. di Scienze Univ. di Cagliari, 53(2), 171-196.

SESSIONE POSTER

Fragilità territoriale e rischio da frana: l'esempio della frana di contrada Vivara (Trivento, Molise)

AUCELLI P. P. C.⁽¹⁾, BARANELLO S.⁽²⁾, BRACONE V.⁽³⁾, DI LALLO G.⁽⁴⁾, DI LISIO A.⁽³⁾, DI PAOLA G.⁽³⁾, D'UVA L.⁽¹⁾, ROSSKOPF C. M.⁽³⁾, SCAPILLATI N.⁽²⁾

(1) Dipartimento di Scienze per l'Ambiente, Università degli Studi di Napoli "Parthenope" e-mail: pietro.aucelli@uniparthenope.it

(2) Servizio Geologico Regionale, Regione Molise e-mail: baranello.sergio@mail.regione.molise.it

(3) Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio e-mail: vito.bracone@unimol.it
antoniodiliosio@gmail.com
gianluigi.dipaola@unimol.it
rosskopf@unimol.it

(4) Geologo, libero professionista e-mail: dilallogiovanni@tiscali.it

1. INTRODUZIONE

Il dissesto idrogeologico rappresenta un problema ambientale di notevole e crescente rilevanza a livello mondiale, spesso responsabile, oltre che di danni ingenti alle strutture, infrastrutture ed al patrimonio ambientale, anche della perdita di vite umane.

In Italia il rischio idrogeologico è diffuso in modo capillare. La regione Molise, in particolare, nonostante la sua superficie ridotta (ca. 4.400 km²), è una delle regioni a più alto numero di fenomeni franosi (ca. 23.800, Roskopf & Aucelli, 2007) e presenta una elevata percentuale delle aree in frana, pari quasi al 13% della sua superficie totale (Roskopf & Aucelli, 2007).

Tra le aree a più alto rischio idrogeologico si colloca anche il territorio del comune di Trivento (Provincia di Campobasso) che, in base ai dati estratti dal *data base* del recente progetto IFFI (Roskopf & Aucelli, 2007), è caratterizzata da una franosità, intesa come il rapporto tra area in frana e superficie totale comunale, del 16% e da una media di 11 fenomeni franosi per km². Le tipologie di movimento più diffuse sono rappresentate da colamenti, scorrimenti rotazionali e fenomenologie complesse.

L'entità e la distribuzione dei fenomeni gravitativi sono fortemente condizionate dalle caratteristiche lito-strutturali del territorio (Baranello *et al.*, 1995; Aucelli *et al.*, 2004b) e dalla presenza diffusa in affioramento di litologie dalle caratteristiche geo-meccaniche più o meno scadenti, nonché dalle interazioni tra dinamiche fluviali e di versante (Aucelli, 1999; Aucelli *et al.*, 2001). A questi fattori predisponenti si aggiunge una evidente influenza meteorologica soprattutto a seguito di eventi piovosi di una certa intensità e/o durata (Aucelli *et al.* 2004a, 2004d).

In questo quadro si inserisce anche la frana che si è verificata il 16 gennaio 2009 in contrada Vivara del comune di Trivento (Fig. 1) causando ingenti danni sia sulla viabilità che sulle strutture abitative. Questa frana,

nel corso del 2009 e soprattutto durante il 2010, è stata interessata da vari fenomeni di ri-attivazione a prevalente carattere regressivo che hanno comportato un ulteriore consistente arretramento di parte della nicchia di frana, con la conseguente perdita di due nuclei abitativi di tipo rurale con annessi aziende agricole.

Il presente lavoro illustra i dati ad oggi acquisiti, sia per finalità scientifiche che gestionali, su questa frana la quale costituisce un caso esemplare di un fenomeno franoso di elevata pericolosità, impostato su di un versante a morfodinamica complessa e dagli equilibri già da tempo compromessi, e che ben rappresenta il diffuso contesto di elevata fragilità territoriale che caratterizza la regione Molise.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area interessata dalla frana di contrada Vivara si colloca nella zona di giunzione tra l'arco settentrionale e l'arco meridionale della catena appenninica (Patacca *et al.*, 1992). La formazione della catena appenninica, riconducibile alla convergenza tra la placca euroasiatica e il blocco di Adria della placca africana tra il Miocene e il Pleistocene inferiore, ha comportato la deformazione, in regime compressivo, degli originari domini paleogeografici, rappresentati da successioni di piattaforma carbonatica e di bacino (Patacca *et al.*, 1990).

La valle del fiume Trigno taglia trasversalmente le strutture compressive della catena che sono rappresentate da pieghe e sovra-

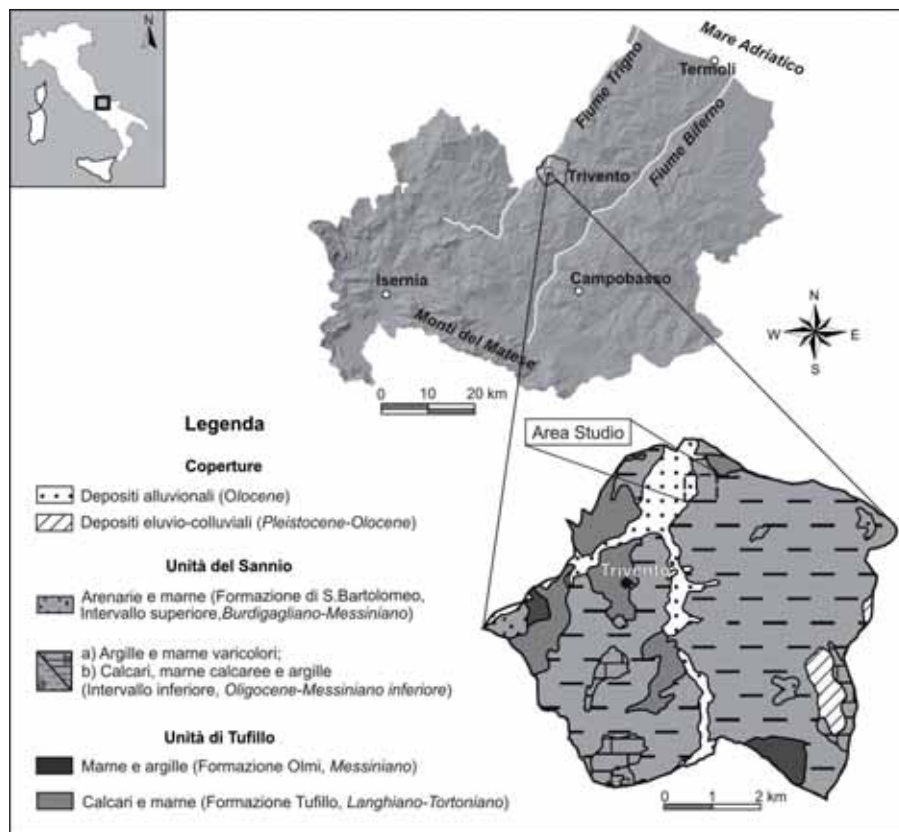


Figura 1 – Schema geologico del territorio comunale di Trivento e localizzazione dell'area di studio.

scorrimenti con orientazioni principali NNW-SSE e NE-SW (Aucelli *et al.*, 2001). Il regime compressivo e la deformazione, in questo settore di catena, interessano le successioni riferibili al Bacino lagonegrese-molisano ed alla Unità del Sannio (Festa *et al.*, 2006; Patacca & Scandone, 2007) o Falda sannitica (Patacca *et al.*, 1992) (Fig. 1). I depositi del bacino lagonegrese-molisano sono costituiti da quattro unità tettono-stratigrafiche, le unità di Frosolone, Agnone, Tufillo e Daunia (Patacca *et al.*, 1992), distinte dalla più prossimale alla più distale in funzione della posizione originaria occupata all'interno del bacino.

Il versante su cui si ubica la frana in questione, è impostato sulla parte inferiore dell'Unità del Sannio (Fig. 1), costituita principalmente dal complesso delle *Argille e marne varicolori* ascrivibili all'Oligocene-Messiniano inferiore (Fig. 1).

Tale unità mostra un aspetto caotico e la stratificazione non è sempre riconoscibile; inoltre presenta un'intensa fratturazione e una colorazione variabile che va dal rosso al grigio-verde, passando per toni di azzurro. Su porzioni di versante adiacenti a quella interessata dal fenomeno franoso affiora, inoltre, localmente la formazione *Tufillo* dell'Unità Tufillo, costituita prevalentemente da calcari e marne (Fig. 1).

Dal punto di vista geomorfologico, si evince chiaramente che il modellamento del paesaggio ha fortemente risentito delle caratteristiche lito-tecniche spesso scadenti e, in particolare, della bassa permeabilità e dall'alto grado di erodibilità delle successioni affioranti. Infatti, i versanti vallivi sono caratterizzati estesamente dalla presenza sia di forme di erosione idrica concentrata di tipo *gully erosion*, sia di forme originate da processi gravitativi. Queste ultime sono in gran parte riconducibili a movimenti franosi, rappresentati soprattutto da fenomeni di scorrimento (rotazionale), di colamento e di tipo complesso. Si riscontrano inoltre diffusi fenomeni di soliflusso e di *soil creep* che interessano sia il substrato sia le coperture colluviali e quelle riconducibili ai cumuli di frana. Per quanto riguarda le forme legate alla dinamica fluviale del fiume Trigno, si individuano nel suo settore vallivo medio-alto sia terrazzi fluviali sospesi, posti tra 12 e 150 m sull'attuale fondovalle, sia terrazzi di fondovalle (Aucelli *et al.*, 2001 e relativi riferimenti bibliografici). In particolare, il fondovalle alluvionato presente all'altezza del versante interessato dalla frana di Vivara fa parte di un'ampia piana, la Piana dell'Ischia, oggi sede di svariate attività produttive, e riferibile al terrazzo di fondovalle di 1° ordine del Fiume Trigno. La sua genesi, presumibilmente, è legata ad una fase di aggradazione conseguente ad un pe-

riodo di ostruzione della valle provocato da un ingente fenomeno franoso occorso poco più a valle, e ancora facilmente individuabile sulle carte topografiche e sulle foto aeree.

3. INDAGINI E RISULTATI

La frana di contrada Vivara del 16 gennaio 2009 (Fig. 2) ha interessato una porzione del versante posto in destra idrografica del fiume Trigno a valle della confluenza del torrente Rivo, impostato sul complesso delle *Argille e marne varicolori* (Fig. 1). In particolare, si colloca tra ca. 335 e 218 m s.l.m. interessando, da monte verso valle, una porzione di versante lunga circa 350 m, e sviluppando un fronte largo ca. 250 m.

L'area interessata dal fenomeno franoso, nei giorni successivi all'evento, è stata oggetto di un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, cui è stato associato un rilievo topografico di precisione di tipo DGPS. I rilievi svolti hanno consentito di delimitare l'area in frana e di definire con soddisfacente precisione le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'intero versante e, in particolare, dell'area in frana mettendo in rilievo anche la presenza di diversi ristagni e venute d'acqua all'interno della massa spostata, che consentivano di definire la frana come *wet* (*sensu* Cruden & Varnes, 1996).

L'analisi integrata dei dati acquisiti in campo e ottenuti attraverso la *back analysis*

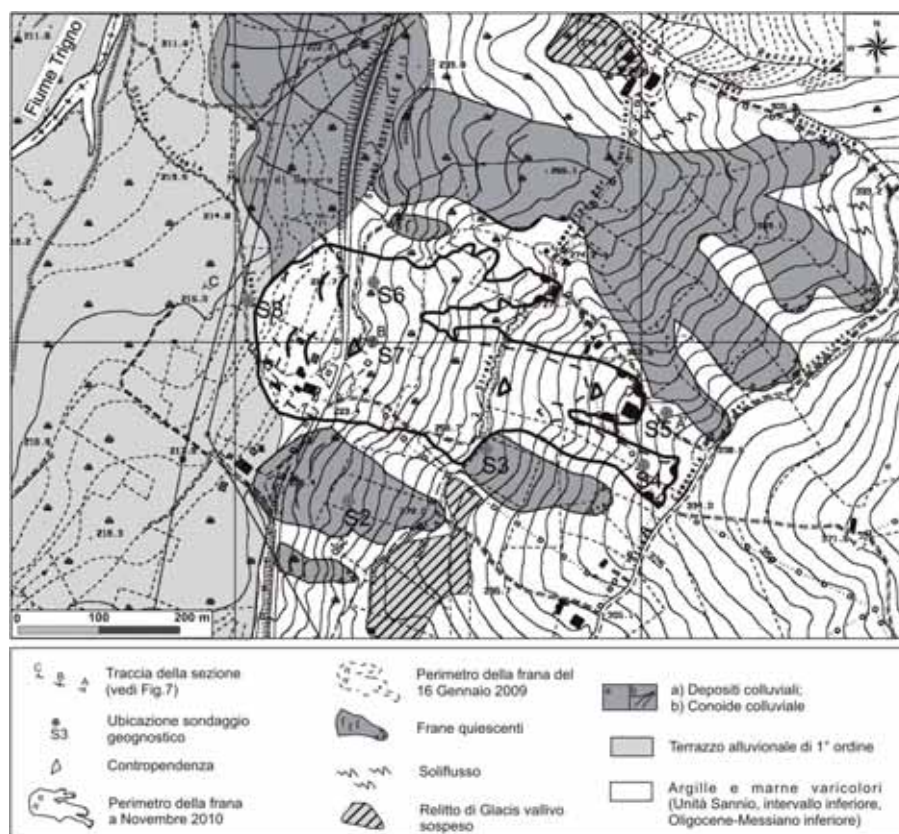


Figura 2 – Schema geomorfologico del versante in contrada Vivara interessato dal movimento franoso del 16 gennaio 2009.

Secondo i dati pluviometrici acquisiti dalla locale stazione di Trivento, la frana si è manifestata in seguito ad un periodo di ripetuti eventi piovosi che nel corso degli ultimi tre mesi e mezzo precedenti l'evento (periodo 1 ottobre 2008-16 gennaio 2009) avevano prodotto ca. 350 mm di pioggia (Tab. 1).

Tabella 1 – Valori di pioggia registrati dalla stazione di Trivento nei mesi precedenti l'evento franoso e nel complessivo periodo 1.10.2008-16.01.2009

Periodo di osservazione	pioggia (in mm)
Ottobre 2008	30,4
Novembre 2008	106,6
Dicembre 2008	123,2
1-16 Gennaio 2009	91,0
Totale	351,2

effettuata tramite l'analisi delle carte topografiche (CTR 1992, scala 1:5000, Regione Molise) e la fotointerpretazione (foto aeree del 1954, 1992 e 2007), ha permesso di identificare diverse frane quiescenti sul versante interessato dal fenomeno del 16 gennaio 2009, e di stabilire che quest'ultimo è consistito nella riattivazione in contemporanea di tre frane quiescenti attraverso movimenti complessi di tipo scorrimento traslativo-colamento di terra e scorrimento rotazionale-colamento (*sensu* Cruden & Varnes, 1996). Tale fenomeno di riattivazione ha dato vita, al piede del versante, ad un unico cumulo, frutto della anastomizzazione delle tre masse spostate dalle singole frane, che è andato ad interessare la strada posta al piede del versante e una casa. Quest'ultima, non abitata in quel

momento a seguito di precedenti ordinanze di sgombero da parte dell'autorità preposta, è stata "sganciata" dalle sue fondazioni e traslata verso valle andando completamente distrutta.

Nel 2009 e soprattutto nel corso del 2010 (a partire da gennaio 2010 e, in particolare, nei mesi di maggio e novembre 2010) questo sistema franoso si è riattivato più volte con stile retrogressivo, sempre in seguito ad eventi pluviometrici significativi, andando così ad interessare progressivamente anche i fabbricati e le abitazioni poste a monte (Figg. 3 e 4).

L'analisi delle tre frane ha messo in evidenza che il fenomeno maggiore di riattivazione va riferito alla frana posta in posizione centrale (Fig. 2) che è anche la principale

S3, S4, S6 e S7, Fig. 2), uno (S5) nella porzione sommitale del versante, al di fuori dell'area di frana, e l'altro (S8) vicino alla base del versante sul terrazzo alluvionale di primo ordine.

La caratterizzazione e interpretazione delle successioni rinvenute nei sondaggi, con particolare riferimento ai sondaggi S5, S7 e S8, ha permesso di definire le caratteristiche stratigrafiche dei terreni che caratterizzano il versante (Fig. 6), fornendo alcune indicazioni importanti circa l'evoluzione morfogenetica recente del versante, e di stabilire lo spessore dei materiali spostati nel corso del 2009-2010.

Il sondaggio S5 (Fig. 6) ha intercettato esclusivamente l'intervallo inferiore dell'Unità del Sannio, ovvero le *Argille e marne va-*

ricolori, costituite da argille limose di colore grigio-verdastro, talora marnose, sottilmente stratificate con venature violacee-rossastre e localmente scagliose.

Tra i sondaggi effettuati all'interno del corpo di frana, particolarmente importante è il sondaggio S7 (Fig. 6) che ha raggiunto una profondità di 50 m. Partendo dalla base della carota, l'analisi litostratigrafica ha consentito di distinguere le seguenti quattro principali unità di terreno: la prima, spessa ca. 14 m, è riferibile al substrato delle *Argille e marne varicolori* ed è costituita da argille limose di colore grigio-verdastro, talora marnose, sottilmente stratificate, con venature violacee-rossastre e localmente scagliose.

La seconda unità, spessa ca. 13 m, è costituita da argille limose grigiastre passanti a grigio-verdastre, con sfumature violacee-rossastre sottilmente stratificate, scagliose alla base, caratterizzate dalla presenza di livelli con clasti a spigoli vivi di natura calcarea. Questa unità è interpretabile come un insieme di depositi prodotti da più fenomeni franosi e di colluvionamento che hanno interessato sia il substrato che le coperture presenti lungo il sovrastante versante.

Ad essa segue, tra 23,70 e 20,50 m dal piano campagna, la terza unità di terreno, di origine fluviale. Questa è costituita alla base da un intervallo ghiaioso in matrice argillosa, caratterizzato da clasti da angolari a sub-arrotondati, eterometrici e di dimensioni comprese entro i 10 cm, che è associabile a un riempimento di canale fluviale in ambiente alluvionale. L'intervallo ghiaioso è ricoperto da sabbie da fini a medie limose, ricche di materia organica nerastra, resti vegetali e inclusi ghiaiosi di dimensioni millimetriche, indicativi di facies di argine o abbandono

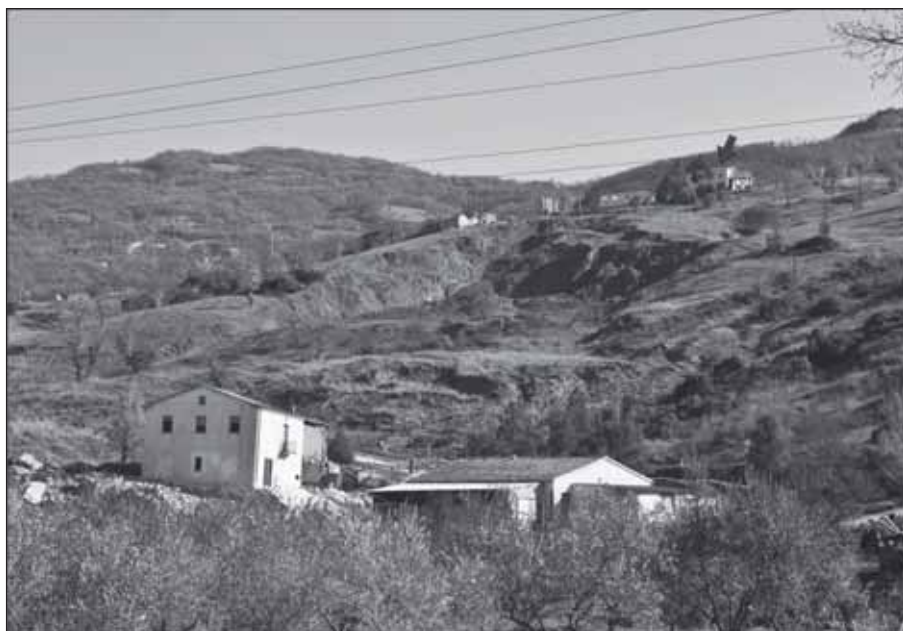


Figura 3 – Veduta del versante e della parte centrale della frana dopo la sua riattivazione nel gennaio del 2009. Con la freccia viene indicato l'edificio che è crollato a seguito dell'arretramento della nicchia di distacco principale nel corso del 2010 (cfr. Fig. 4).

responsabile dei danneggiamenti che hanno subito la casa al piede del versante e successivamente anche quelle poste a monte. Questa frana si è riattivata con stile retrogressivo per effetto di un fenomeno di scorrimento che, sulla base dei rilievi effettuati, è avvenuto lungo una superficie di rottura posta intorno ai 12-15 m, ed è poi evoluto in colamento (Fig. 5).

Nel 2010, in seguito ad ulteriori riattivazioni, il Servizio Geologico Regionale ha predisposto il finanziamento di indagini geognostiche (eseguite a cura dell'amministrazione comunale di Trivento) volte a meglio definire gli areali e i volumi coinvolti, e di conseguenza l'entità del fenomeno in atto. L'elevata dinamica del fenomeno al momento non ha consentito di condizionare i fori di sondaggio per misure inclinometriche e piezometriche data l'alta probabilità di perdita della strumentazione installata. In totale sono stati realizzati sei sondaggi a carotaggio continuo, di cui quattro ubicati all'interno del corpo di frana (sondaggi



Figura 4 – Particolare della nicchia di distacco centrale in progressivo arretramento a novembre 2010.

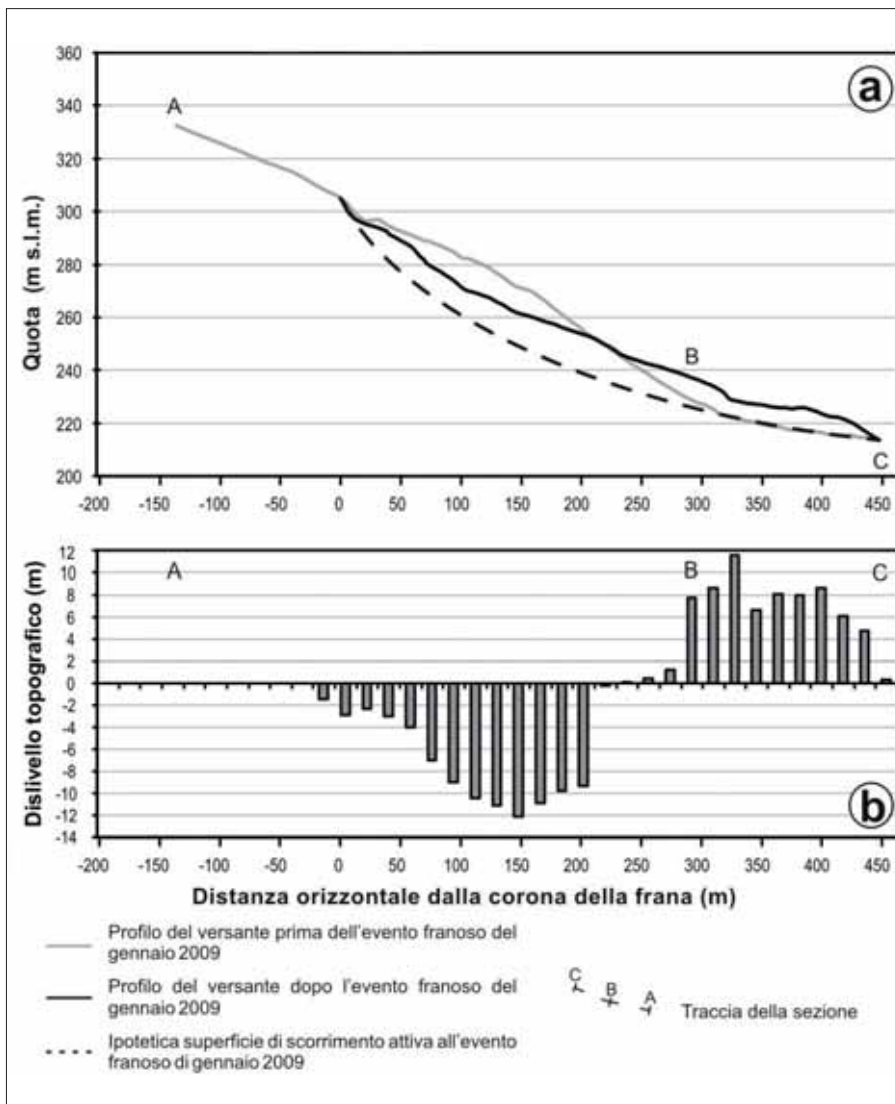


Figura 5 – a) Sezione schematica realizzata su base DEM in seguito a rilievo DGPS; b) Dislivello topografico tra il profilo del versante originario e quello successivo all'evento franoso del 16 gennaio 2009.

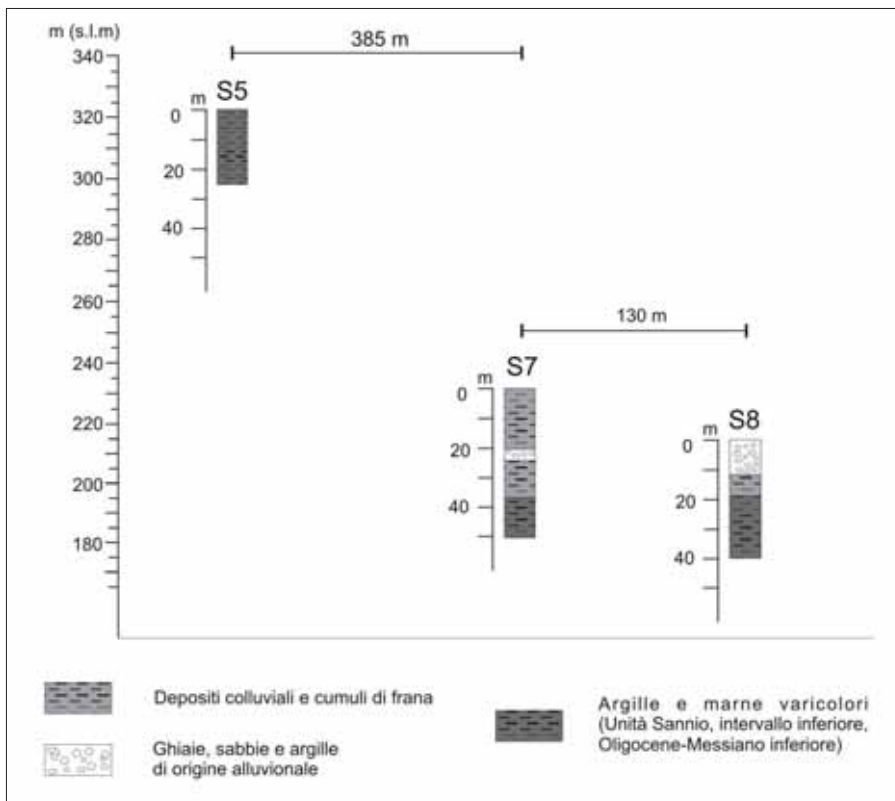


Figura 6 – Log stratigrafici semplificati dei sondaggi geognostici più significativi.

canale, e quindi chiaramente riconducibili a un contesto fluviale. Il deposito chiude con un intervallo argilloso-limoso caratterizzato da patine di ossidazione e contenente inclusi ghiaiosi millimetrici e materiale organico, indicando condizioni di parziale emersione e apporti laterali provenienti dal versante.

Segue, infine, la quarta unità di terreno, spesso ca. 20 m e costituita da depositi di frana connessi anche al fenomeno franoso del gennaio 2009. Tali depositi sono rappresentati da argille limose, talora marnose, di colore grigio e nocciola con venature giallastre, caratterizzate a varie altezze dalla presenza di inclusi ghiaiosi eterometrici e sub angolari che indicano il rimaneggiamento, a più riprese, del deposito nel corso della sua messa in posto e, quindi, la genesi polifasica del cumulo di frana.

Anche il sondaggio S8 (Fig. 6) ha intercettato, per uno spessore di ca. 22 m, l'unità delle *Argille e marne varicolori*. Seguono, verso l'alto, ca. 7 m di argille limose grigiastre, con sfumature violacee-rossastre e caratterizzate dalla presenza di clasti a spigoli vivi di natura calcarea e con segni evidenti di rimaneggiamento, interpretabili come materiale colluviale frammisto a cumuli di frana, e correlabili alla seconda unità del sondaggio S7. La successione chiude con ca. 11 m di depositi ghiaioso-sabbioso-limosi di chiara origine fluviale, che ben si correlano con quelli costituenti la terza unità del sondaggio S7.

In base ai sondaggi geognostici, tenendo conto dei rilievi geomorfologici e topografici, è stata costruita una sezione geologica trasversale al versante nel tratto interessato dal sistema franoso di Vivara (Fig. 7).

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I rilievi geologici in campo, supportati dalle indagini geognostiche, hanno permesso di definire le caratteristiche dei terreni coinvolti, mentre l'analisi geomorfologica ha permesso di ricostruire, con il supporto delle indagini topografiche di precisione eseguite appositamente, le principali caratteristiche dei fenomeni franosi verificatosi tra il 2009 e il 2010.

Ponendo particolare attenzione alle stratigrafie dei sondaggi S7 e S8 (Fig. 6) e la sezione geologica ricostruita (Fig. 7), si individuano infatti almeno due importanti eventi franosi. Il primo, chiaramente polifasico, corrisponde alla deposizione dei depositi di frana più antichi e colluviali di età non nota. Tali depositi, nel sondaggio S7, sono ricoperti da depositi fluviali (unità terza) che mettono in evidenza una importante fase di aggradazione e di divagazione laterale del Fiume Trigno. Durante tale fase il versante è stato sottoposto con ogni probabilità ripetutamente all'azione di scalzamento al piede da parte del fiume per

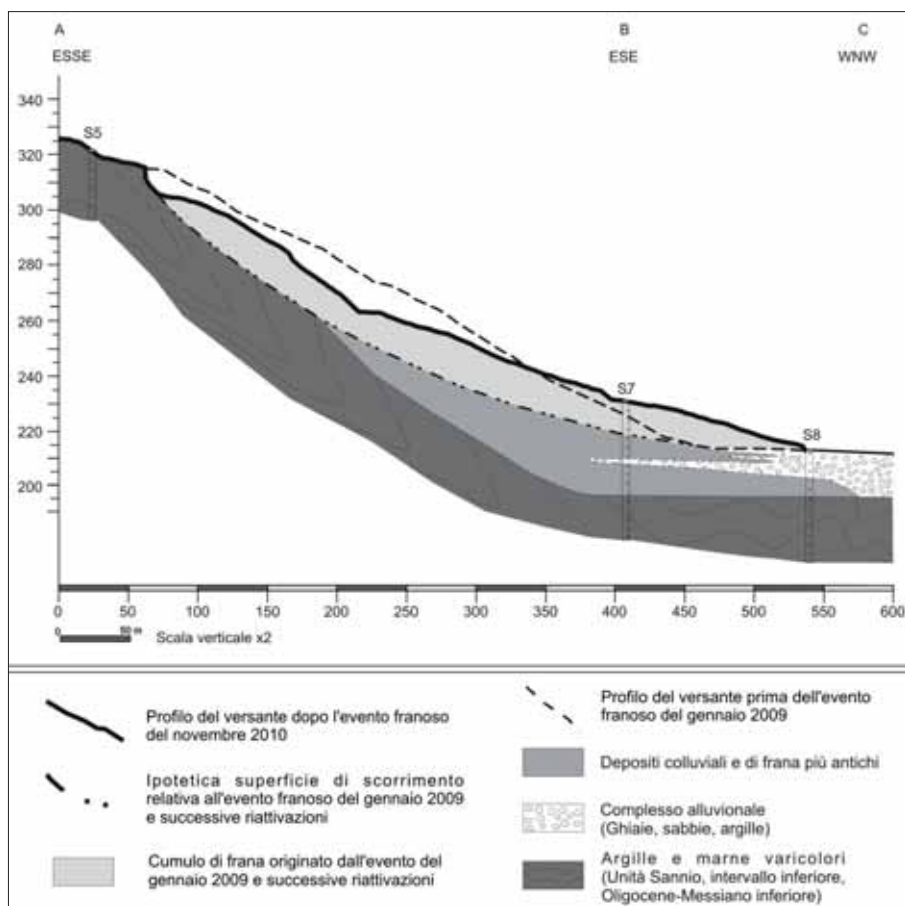


Figura 7 – Sezione geologica della porzione di versante interessata dal movimento franoso.

effetto del quale, come è possibile osservare frequentemente nella valle del Fiume Trigno, la parte basale del versante ha acquistato nel tempo pendenze sempre più elevate trasformandosi in una vera e propria scarpata fluviale instabile.

Il secondo evento franoso, invece, corrisponde proprio all'evento franoso del 16 gennaio 2009 e successive riattivazioni. Le caratteristiche del relativo cumulo, come emerge in particolare dal sondaggio S7, indicano un rimaneggiamento quasi del tutto assente in alcuni intervalli stratigrafici onde indicare una traslazione quasi in blocco della massa spostata.

In conclusione, l'analisi ad oggi condotta mette in evidenza un sistema di versante estremamente destabilizzato a seguito della sua precedente morfogenesi che ha visto anche in passato una intensa interazione tra le dinamiche dell'alveo fluviale del Fiume Trigno e quelle di versante.

Considerando che la piovosità media annua di questo settore è di ca. 800 mm (Aucelli et al., 2004c; 2007) si evince che gli eventi piovosi che hanno caratterizzato gli ultimi mesi prima dell'evento franoso (ca. 350 mm) e, in particolare, quelli avvenuti nella sola prima metà di gennaio (pari a 91 mm), hanno avuto certamente una loro rilevanza nell'attivazione del fenomeno franoso in questione, agendo su un sistema già di per sé in equilibrio molto precario.

Quanto sin ora descritto impone un'attenzione particolare a queste porzioni di territorio la cui morfodinamica per frana non sempre è ben valutabile sulla base di indagini speditive. A tal riguardo va sottolineato che la carta della pericolosità redatta a corredo del Piano di Assetto Idrogeologico, per altro non ancora adottato, relativo al comparto del bacino del fiume Trigno definiva l'area di studio interessata da una localizzata moderata pericolosità (R2). È chiaro, quindi, che in questi casi si pone l'obbligo di una più prudente valutazione dello stato dei fenomeni di versante, attraverso un'accurata definizione delle morfodinamiche in atto e di quelle pregresse, quest'ultime importanti in relazione a possibili fenomeni di riattivazione legati a dissesti talora profondi, come quello esposto.

Un'ulteriore riflessione deve riguardare la gestione delle aree ad uso agricolo che spesso sfugge agli strumenti territoriali di tutela dal rischio. Nello specifico, l'entità del fenomeno è tale da rendere difficilmente valutabile in termini di costi/benefici il ripristino dello stato dei luoghi, impedendo di fatto soluzioni di tipo strutturali. Infatti, nel caso in esame, l'ipotesi di soluzione strutturale più probabile consiste nella dislocazione in luoghi sicuri delle attività oggi presenti al piede e a monte del fenomeno franoso, e nella realizzazione di una viabilità alternativa a quella attuale.

BIBLIOGRAFIA

- AUCELLI P.P.C. (1999) - *Analisi morfodinamica del bacino del fiume trigno: distribuzione entità e cause dei fenomeni di alveo e di versante*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali: uomo e ambiente. XII Ciclo - Università degli Studi del Molise, 306 pp., 25 Tavv.
- AUCELLI P.P.C., CINQUE A. & ROSSKOPF C.M. (2001) - *Geomorphological map of the Trigno basin (Italy): explanatory notes*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 24, 1, 3-12.
- AUCELLI P.P.C., BALTEANU D., IZZO M. & ROSSKOPF C.M. (2004a) - *Types and mechanism of slope failure due to the rainfall event on January 2003 in Molise region (S. Italy)*. In: "Geomorphology and Environment". ACB Publications, Kolkata, India, 125-142.
- AUCELLI P.P.C., BRANCACCIO L., RAVERA F. & ROSSKOPF C.M. (2004b) - *Landslide susceptibility along the Adriatic flank of Southern Apennines (Italy): the case of Molise Region*. In: "Geomorphology and Environment". ACB Publications, Kolkata, India, 168-181.
- AUCELLI P.P.C., GABRIELE S., GAUDIO R. & ROSSKOPF C.M. (2004c) - *Automatic recording of hydrologic-hydrologic field data: The pilot basin of the Rivo torrent (Molise, Italy)*. In: New Trends in Hydrology (edited by Gaudio R.). Proc. 1st Italian-Russian Workshop, Rende (CS), 24-26 September 2002, 123-134.
- AUCELLI P. P. C., IZZO M., MAZZARELLA A., ROSSKOPF C. M. & RUSSO M. (2004d) - *L'evento meteorico estremo di gennaio 2003 sul Molise*. Quaderni di Geologia Applicata, 11, 101-119.
- AUCELLI P. P. C., IZZO M., MAZZARELLA A., ROSSKOPF C. M. & RUSSO M. (2007) - *La classificazione climatica della regione Molise*. Bollettino della Società Geografica Italiana, vol. 12, serie 12, 615-617.
- BARANELLO S., SCAPILLATI N., VECCHIARELLI C., GUIDA M., LANZARA R., LIONETTI C., PERRIELLO ZAMPELLI S., SALSANO G., TORRE M. & VALLARIO A. (1995) - *I centri abitati instabili del Molise: censimento e analisi preliminare dei fenomeni franosi*. Geologia Tecnica e Ambientale, 4, 5-17.
- CRUDEN D.M. & VARNES D.J. (1996) - *Landslide types and processes*. In: A. K. Turner and R. L. Schuster eds. "Landslides, investigation and mitigation" special report, 247.
- FESTA A., VEZZANI L. & GHISETTI F. (2006) - *Note illustrative della Carta Geologica del Molise*. Carta geologica del Molise, scala 1:100000.
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - *Tyrrhenian Basin and Apenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times*. Memorie della Società Geologica Italiana 45, 425-451.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA L., PERILLI N. & SANTINI U. (1992) - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geologici Camerti vol spec. 1991/2, CROP 11, 417-441.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2007) - *Geology of the Southern Apennines*. Bollettino della Società Geologica Italiana, Spec. Issue 7, 75-119.
- ROSSKOPF C.M. & AUCELLI P.P.C. (2007) - *Analisi del dissesto da frana in Molise*. In: Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI - Metodologia, risultati e rapporti Regionali. APAT, rapporti 78, 493-508.

Piogge intense e dissesto idrogeologico in piemonte

LUCIA BAIMA⁽¹⁾, SECONDO BARBERO⁽²⁾, MANUELA BASSI⁽²⁾, CAVIGLIA C.⁽¹⁾, DESTEFANIS E.⁽¹⁾, LUCIANO MASCIOCO⁽¹⁾

(1) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino

(2) ARPA Piemonte

RIASSUNTO

L'intento del presente lavoro è quello di correlare eventi pluviometrici intensi e dissesto idrogeologico in Piemonte. Vengono perciò riassunti i principali casi (numero 27) a partire dal 1993 al 2011, utilizzando i dati raccolti dalla Regione Piemonte e da Arpa Piemonte.

Per ogni evento preso in esame, è stata realizzata una carta delle isoiete (piogge cumulate dell'evento) e correlata con la distribuzione territoriale dei dissesti.

Successivamente sono state correlate le durate delle piogge di evento con le loro intensità inserendole nei classici grafici per la valutazione delle soglie pluviometriche di innesco dei fenomeni franosi.

Infine è stata realizzata una cartografia d'insieme delle aree interessate dai dissesti, evidenziando a scala di bacino o territorio comunale, le zone più frequentemente colpite.

1. PREMESSA

Si definiscono come dissesti idrogeologici quei processi che vanno dalle erosioni contenute e lente alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sotterranea dei versanti fino alle forme imponenti e gravi delle frane comprendendo anche fenomeni come alluvioni e valanghe.

Le cause del dissesto idrogeologico sono da ricercarsi nella fragilità del territorio, nella modificazione radicale degli equilibri idrogeologici lungo i corsi d'acqua e nella mancanza d'interventi manutentori da parte dell'uomo.

Il dissesto idrogeologico ha origine dall'azione dello scorrimento delle acque superficiali e sotterranee e si manifesta nelle forme più evidenti attraverso l'erosione torrentizia e le frane. Pertanto sarebbe meglio sottolineare che esistono due componenti non contemporaneamente presenti nel dissesto: una idraulica o idrologica relativa all'inadeguatezza della rete di drenaggio, l'altra geologica che si riferisce a frane, calanchi, erosione, valanghe. Per verificare quali realmente siano le possibili cause di un eventuale rischio di dissesto idrogeologico, bisogna iniziare a monte. In primo luogo possiamo incontrare superfici in evidente stato di erosione provocate da origini antropiche (eccessivo pascolo,

frequenti incendi di origine dolosa, realizzazione di strade, piste di esbosco, piste da sci, cave, discariche, oleodotti, metanodotti, elettrodotti, abitazioni, quest'ultimi realizzati senza alcun accorgimento e successive opere manutentorie). In molte zone montane un altro tipo di fattore che può provocare instabilità nei versanti sono i sovraccarichi dovuti ad accumuli di neve o acque meteoriche, accumulo di detriti, crescita della vegetazione, attività antropiche (accumuli di cave, discariche, accumuli di acquedotti, ecc..).

2. IL MONITORAGGIO DELLE PIOGGE INTENSE IN PIEMONTE

A partire dal 1997 l'Arpa Piemonte ha cominciato a redigere delle relazioni riguardanti i principali eventi meteorici verificati sul territorio. Tali relazioni, denominate rapporti d'evento vengono prodotte nel corso di ogni evento alluvionale e meteorologico e nei giorni appena successivi allo stesso. Ogni rapporto espone gli aspetti meteorologici ed idrologici riportando i risultati delle analisi condotte sui dati rilevati dalla rete di acquisizione dati meteorologici del Centro Funzionale di Arpa Piemonte. Essi contengono inoltre la descrizione dei processi di instabilità naturale prodottisi sul territorio e dei loro effetti, sulla base dei rilievi condotti dai tecnici del Dipartimento Geologia e Dissesto e del Dipartimento Prevenzione dei Rischi Geologici.

La rete dei Centri Funzionali, istituita per la gestione delle emergenze ambientali, a seguito della legge n. 183/1989 sulla difesa del suolo, e della legge n. 225/1992 che istituisce la protezione civile, opera secondo criteri, metodi, standard e procedure comuni ed è componente del Servizio nazionale della protezione civile.

Le attività del Centro Funzionale si dividono in una fase di previsione e una di monitoraggio.

Quest'ultima ha lo scopo di fornire informazioni che consentano tramite la trasmissione, la raccolta e la concentrazione nei Centri Funzionali di protezione civile di dati rilevati per diverse finalità da sensori di diversa natura, sia di formulare e/o di confermare lo scenario previsto, sia di aggiornarlo a seguito dell'evoluzione dell'evento in corso.

Per gli eventi precedenti il 1997, di cui non sono disponibili i rapporti d'evento dell'Arpa, sono stati utilizzati i dati estrapolati dai volumi cartacei della Regione Piemonte sugli eventi alluvionali (Regione Piemonte, 1996; 1998).

Nella tabella seguente (Tab. 1) verranno riassunti i principali eventi, tratti dai rapporti di evento dell'Arpa e della Regione Piemonte, che hanno provocato fenomeni alluvionali e fenomeni di instabilità: in essa viene riportato il periodo in cui l'evento si è verificato, l'intensità media ricavata dal rapporto tra il valore massimo di pioggia cumulata relativa alla stazione meteopluviometrica più vicina all'area di dissesto e le ore di durata dell'evento, il tipo di dissesto e la localizzazione indicativa delle aree colpite dal dissesto.

3. PIOGGE INTENSE E FENOMENI DI DISSESTO

Uno studio precedente ha analizzato le precipitazioni brevi ed intense registrate in Piemonte dalla rete pluviografica del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (rete SIMN) e da quella, di più recente costituzione, gestita dapprima dalla Regione Piemonte e attualmente da Arpa Piemonte (rete ARPA), al fine di valutarne sia la variazione nel tempo sia la distribuzione nello spazio. Lo studio aveva evidenziato nella regione le piogge intense si collocano principalmente nel settore montuoso settentrionale e secondariamente in alcune zone del settore montuoso meridionale.

Negli anni valutati, l'intensità sembra essere diminuita dai primi anni di osservazione (1940-1955) rispetto alla seconda metà del secolo scorso, per poi toccare i valori più elevati nell'ultimo periodo preso in considerazione (1994-2004) (Bassi *et al.*, 2010)

Il presente studio si presenta come un approfondimento del precedente e vuole andare valutare e riassumere gli eventi di dissesto idrogeologico conseguenti o concomitanti episodi di piogge intense e significative. Lo studio, basato sui rapporti d'evento stilati dall'Arpa Piemonte e Regione Piemonte negli anni dal 1993 al 2011, ha:

- attraverso una comparazione della carte delle isoiete rappresentanti i mm di

Tabella 1: tabella riassuntiva dei principali eventi pluviometrici che hanno interessato il Piemonte dal 1993 al 2011 e che hanno portato a fenomeni di dissesto idrogeologico.

Periodo	Intensità media	Tipo dissesto	Località
22-24 settembre 1993	12.22 mm/h	Processi lungo la rete idrografica (piene e allagamenti, crolli viadotti); i processi lungo i versanti sono stati, nel complesso, limitati e con scarsa diffusione areale, fatto salvo per una certa diffusione di fenomeni di fluidificazione delle coperture nei settori appenninici	Settore settentrionale e in misura minore settore meridionale della regione
2-6 novembre 1994	4.68 mm/h	Gravi processi lungo la rete idrografica primaria e secondaria, con elevato numero di danni economici e vittime; fenomeni di versante in particolare nella Langhe e nel Monferrato (scivolamenti planari e mobilitazione coltri detritiche).	Settore centro-meridionale e rare aree del Biellese
8 luglio 1996	7.81 mm/h	Mobilizzazione di materiale litoide, erosioni spondali diffuse alternate a deposizione di sedimenti, colate detritiche per effetto dell'alluvionamento liquido, diffuso alluvionamento, frane lungo i versanti	Limitate porzioni del Verbanese
7-10 ottobre 1996	3.86 mm/h	Danneggiamento di manufatti relativi essenzialmente alla rete stradale o ferroviaria e attraversamenti dei corsi d'acqua, erosioni fluvio-torrentizie, esondazioni, riattivazione di canali, movimenti franosi. (i dissesti non appaiono nel complesso gravi, tenendo conto della tipologia dei terreni coinvolti e delle situazioni idrogeologiche presenti)	Cuneese
28-29 giugno 1997	3.33 mm/h	Innalzamento dei livelli idrometrici, locali e modesti fenomeni di esondazione ai quali non sono associati danni alle strutture e alla viabilità, colamenti di detrito, fenomeni di trasporto solido lungo torrenti, caduta massi con danni alla sede stradale	Settore nord-occidentale
27-29 maggio 1998	7.29 mm/h	Allagamenti e fenomeni franosi localizzati	Limitate porzioni del Vercellese, Biellese e Alessandrino
4-5 settembre 1998	7.89 mm/h	Erosioni spondali, colate detritiche in alveo, modesti fenomeni franosi	Verbanese-Cusio-Ossola
3-5 maggio 1999	3.50 mm/h	Allagamenti e modesti fenomeni franosi superficiali	Settore meridionale della regione
23 ottobre 1999	8.17 mm/h	Allagamenti di aree coltivate, erosioni spondali, limitati coinvolgimenti ad infrastrutture. Ridotti processi di versante.	Porzione limitata dell'Alessandrino
10-14 giugno 2000	3.03 mm/h	Innalzamenti significativi, piene	Settore montuoso occidentale
13-16 ottobre 2000	7.78 mm/h	Allagamenti, frane, smottamenti, ingenti danni alle infrastrutture; fenomeni franosi (scivolamenti, colamenti, crolli) nel cuneese, torinese, novarese, VCO	Verbanese Cusio Ossola, torinese, Vercellese, Cuneese
5-7; 13-14; 16-17; 23-24 novembre 2000	2.5 mm/h	Danni ingenti e diffusi per esondazioni e fenomeni franosi, estesi anche al substrato roccioso; fenomeni complessi, crolli, scivolamenti planari, colamenti lenti e veloci.	Alessandrino
2-5/8-10 maggio 2002	4.18 mm/h	Allagamenti, fenomeni di piena, fenomeni franosi, colate fangose che hanno interessato la viabilità	Verbanese-Cusio-Ossola, Novarese, Cuneese, Alessandrino
4-6 giugno 2002	5.63 mm/h	Fenomeni di versante e attività torrentizia, frane ed erosioni diffuse, allagamenti e crolli di infrastrutture	valli del Canavese, Biellese e Verbanese
13-15 luglio 2002	4.26 mm/h	Allagamenti, fenomeni di trasporto in massa, processi gravitativi di versante (crollo, fluidificazione superficiale)	Cuneese e Astigiano
1-2 settembre 2002	1.79 mm/h	Allagamenti e inondazioni ad opera della rete idrografica secondaria	Torinese
1-4 dicembre 2003	3.20 mm/h	Riattivazione movimento franoso già oggetto di interventi di sistemazione e monitoraggio a seguito dell'alluvione del 2000; crollo in roccia; crollo di un muro di difesa spondale; frana; esondazioni e allagamenti; dissesto gravitativo per colata	Limitate e poco estese zone del settore meridionale e occidentale
5 maggio 2004	14.86 mm/h	Attivazione movimenti gravitativi, esondazioni di alcuni torrenti che hanno causato danni ad abitazioni e strade	Biellese e Verbanese-Cusio-Ossola
20 giugno 2007	2.66 mm/h	Diffusi processi di ruscellamento ed allagamento nell'area urbana precollinare dovuti ad anomali deflussi superficiali a moderata/elevata energia, criticità del sistema di drenaggio e smaltimento delle acque superficiali lungo il reticolo idrografico minore nell'area collinare, processi di instabilità dei versanti causati da fenomeni gravitativi in area collinare e precollinare	Torino
28-29 maggio 2008	8.85 mm/h	Fenomeni d'erosione e inondazione, fenomeni franosi localizzati	Settore montuoso Cuneese e Torinese
14-17 dic 2008	4.17 mm/h	Localizzati fenomeni di erosione e inondazione; localizzati fenomeni franosi nei versanti prealpini e collinari di AT, AL, CN, TO, BI	Settore centro-occidentale della regione
26-28 aprile 2009	5.00 mm/h	Limitati processi fluviali e torrentizi, elevato numero fenomeni franosi (frane sup, scivolamenti)	Settore centrale di pianura e collina
5 maggio 2010	3.13 mm/h	Allagamenti e fenomeni franosi minori che hanno interessato la viabilità	Limitate porzioni del settore nord-occidentale della regione
14-17 giugno 2010	3.79 mm/h	Allagamenti e processi di versante superficiale di modeste dimensioni	Porzioni sparse di quasi tutto il territorio piemontese, esclusa la provincia astigiana.
11-15 ago 2010	2.20 mm/h	Allagamenti e processi di versante superficiale di modeste dimensioni. (esclusa frana Bognanco).	Cuneese, Verbanese, Torinese, Vercellese
30 ottobre-2 novembre 2010	3.49 mm/h	Allagamenti e fenomeni franosi minori che hanno interessato la viabilità (frane sup.)	Alessandrino, Astigiano, Cuneese, Torinese, Novarese, Verbanese
15-16 marzo 2011	6.62 mm/h	numerosi fenomeni gravitativi di piccola e media entità in molte comuni della provincia ed allagamenti di estensione variabile sia lungo il reticolo idrografico principale sia lungo quello secondario	Bacini Belbo, Bormida, Cervo, Alto Sesia, Stura di Lanzo, Orco.

pioggia cumulati dei singoli eventi pluviometrici, si è cercata la correlazione tra piogge massime rilevate sul territorio e l'ubicazione del dissesto idrogeologico nel medesimo periodo.

- Grazie all'utilizzo di grafici che correlano l'intensità e la durata dell'evento pluviometrico, si sono valutate le cause predisponenti o scatenanti oltre a quelle meteoclimatiche.
- Una cartografia unica e riassuntiva delle aree colpite dagli eventi di dissesto idrogeologico negli anni presi in considerazione, evidenziando in tal modo le zone maggiormente interessate e ripetutamente colpite.

3.1 DATI UTILIZZATI E LORO RAPPRESENTAZIONE

I dati utilizzati nel presente studio si riferiscono ai rapporti d'evento dell'Arpa Piemonte e Regione Piemonte dal 1993 al 2011.

Sono stati presi in considerazione dati quali località interessate dalle precipitazioni, totale di pioggia cumulata espressa in millimetri nell'arco dell'evento e aree colpite da alluvionamenti e fenomeni di dissesto legate a fenomeni gravitativi. Tuttavia i rapporti utilizzati per reperire i dati necessari presentano un diverso grado di approfondimento, soprattutto per quanto riguarda le località colpite dal dissesto, andando dalla scala di bacino a quella specifica del comune. Pertanto si evidenzia una disomogeneità tra i primi rapporti di evento e i più recenti.

Non sono stati presi in considerazione gli eventi temporaleschi in quanto limitati in senso spaziale e temporale. Tali eventi si riferiscono ai periodi del 6-7 agosto 2004, 18 luglio 2005, 17 luglio 2009 e 7 agosto 2009.

Per ricercare la correlazione tra i mm di pioggia cumulata e i fenomeni di dissesto sono state utilizzate carte delle isoiete, tratte dai rapporti d'evento, e successivamente georeferenziate in modo da permettere un confronto con la cartografia GIS precedentemente realizzata.

Per correlare l'intensità media e la durata dell'evento sono state ricercate in letteratura le soglie di attivazione del dissesto e sono state confrontate con i grafici di interpolazione tra intensità media e durata degli eventi pluviometrici presi in considerazione nel presente lavoro.

A seconda dei risultati ottenuti si sono quindi ricercate, nei rapporti d'evento, eventuali cause predisponenti quali fattori antropici o condizioni di particolare saturazione del terreno dovuta a piogge precedenti.

Per produrre la cartografia riassuntiva delle aree colpite dal dissesto, i dati sono stati elaborati in ambiente GIS al fine di evidenziare quali sono i settori più frequentemente interessati dai fenomeni.

3.2 RISULTATI

Confrontando la cartografia degli eventi di dissesto con le carte delle isoiete di pioggia cumulata per ogni singolo evento si nota una buona correlazione per la maggior parte degli eventi considerati. Si riporta come esempio di correlazione la cartografia riferita all'evento

valentemente il Biellese e il Verbano, le aree maggiormente colpite da dissesti sono quelle corrispondenti ai settori collinari e di pianura che a causa delle piogge e nevicate precedenti presentavano terreni già saturi, reagendo così in modo più marcato alle precipitazioni dell'evento.

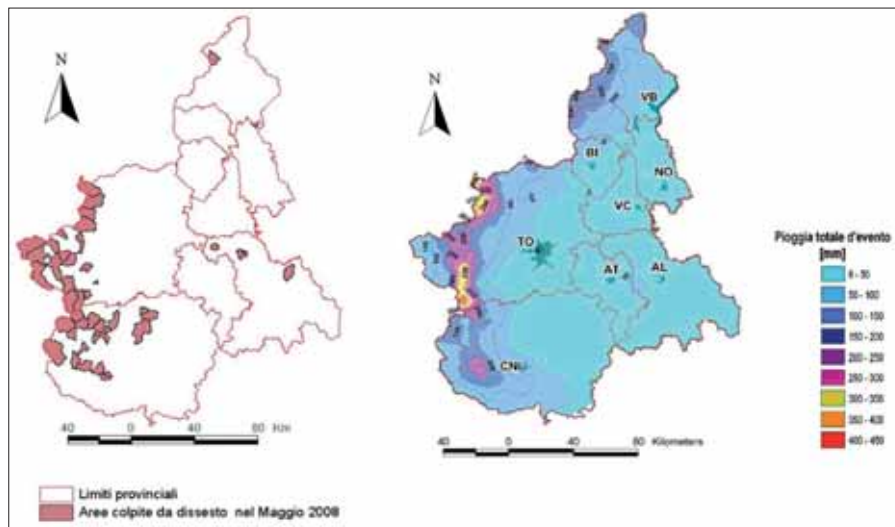


Figura 1 – La prima cartografia rappresenta le aree interessate da dissesto nel periodo di Maggio 2008, la seconda è una carta delle isoiete della pioggia cumulata nel medesimo periodo; si noti la buona correlazione tra le due cartografie.

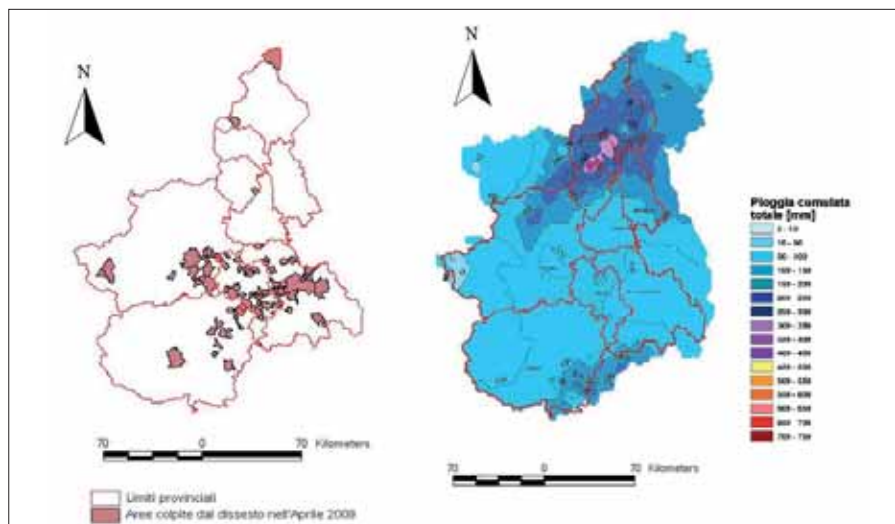


Figura 2: la prima cartografia rappresenta le aree interessate da dissesto nel periodo di Aprile 2009, la seconda è una carta delle isoiete della pioggia cumulata nel medesimo periodo; in questo caso non c'è correlazione tra le due cartografie

del Maggio 2008 (Fig. 1), di cui vengono di seguito riportate la carta delle aree colpite da dissesto e la carta delle isoiete di pioggia cumulata. In questo caso la porzione di territorio interessata dall'evento pluviometrico è quella montuosa del settore occidentale della regione, che è il medesimo interessato dai dissesti quali fenomeni di erosione degli alvei e conseguenti inondazioni e fenomeni franosi localizzati.

Nel caso invece dell'evento pluviometrico di Aprile 2009 (Fig. 2), non si evidenzia una buona correlazione tra massimi di pioggia e dissesti: il motivo potrebbe essere un periodo molto piovoso che ha interessato il territorio regionale a partire dalla metà di Marzo. Anche se l'evento pluviometrico ha interessato pre-

Abbiamo visto che le piogge più o meno intense possono essere la causa scatenante dissesti idrogeologici quali frane e alluvioni.

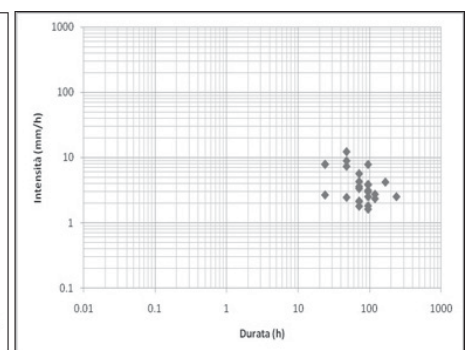
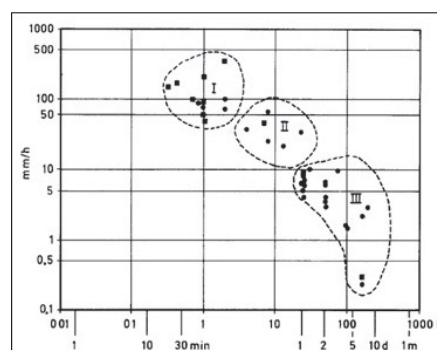


Figura 3 a) e b): Diagrammi di correlazione durata (h) - intensità (mm/h) delle precipitazioni; il primo (Fig. 4a) è tratto dal lavoro di Moser & Hohensinn (1983), il secondo (Fig. 4b) è riferito al presente studio.

Tuttavia non sempre ciò è sufficiente e, andando a indagare situazioni geologico-strutturali, fisico-geografiche, antropizzazione ecc. . . , vediamo come sussistano delle cause predisponenti che favoriscono l'innescarsi del fenomeno.

Negli anni analizzati si è visto come in alcuni casi, i danni provocati dall'evento meteorologico siano stati innescati e ampliati da fattori antropici quali l'urbanizzazione che causa interferenze negative con il reticolo idrografico, la presenza di cave o discariche che forniscono materiale di varia pezzatura che va a incrementare il carico solido dei rii, la scarsa manutenzione degli alvei ostruiti dai detriti, le opere spondali non ben costruite, i sistemi di smaltimento degli scarichi idrici poco funzionali che causano quindi il rigurgito della rete fognaria, senza contare eventuali incendi che lasciano il terreno impoverito e localmente impermeabile, favorendo così il run-off.

Oltre ai fattori antropici ci sono cause naturali quali la saturazione del terreno dovuta alle piogge pregresse, saturazione che spesso provoca la formazione di fratture, trincee, rigonfiamenti e marcate ondulazioni la presenza di versanti scarsamente vegetati che presentano condizioni di instabilità diffusa.

L'importanza delle cause predisponenti è evidenziato anche dalle considerazioni successive.

Nel primo grafico (Fig. 3a) si mettono in relazione la durata totale della precipitazione dell'evento e l'intensità media oraria. Nel campo I troviamo le precipitazioni brevi e intense, nel campo II le precipitazioni prolungate e nel III campo le precipitazioni prolungate e intense (Moser & Hohensinn, 1983).

Dal secondo grafico (Fig. 3b) vediamo come gli eventi considerati in questo studio si collocano nel III campo del diagramma proposto da Moser e Hohensinn, classificabili quindi come eventi di forte intensità e durata significativa.

La distribuzione dei punti proiettati è stata in seguito confrontata con le curve di soglia proposte da diversi autori (Rappelli, 2008).

Nel confrontare i punti, ottenuti dall'analisi dei dati compiuta nella presente ricerca,

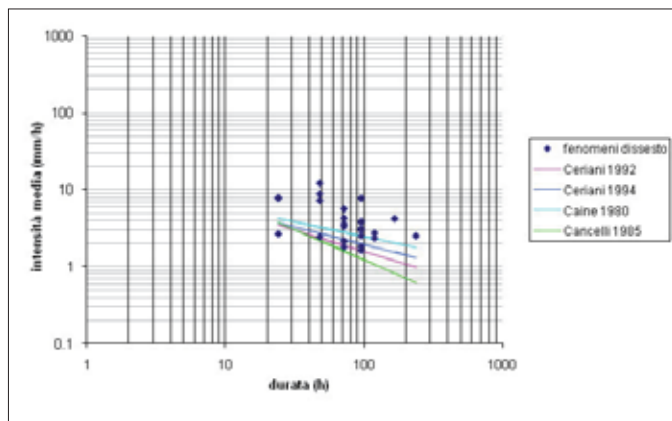


Figura 4 – Grafico di correlazione tra durata (h) intensità (mm/h) delle precipitazioni in cui vengono riportate le linee di soglia di precipitazione al di sopra delle quali si verificano dissesti (Rappelli, 2008).

con curve elaborate da altri autori si deve tener conto della possibile diversa definizione della durata dell'evento meteorico, che condiziona anche l'intensità media associata e quindi la posizione relativa tra punti e curve.

Vediamo da grafico successivo (Fig. 4) come gli eventi pluviometrici si collochino al di sopra delle curve di soglia, evidenziando la natura scatenante dissesti delle piogge con intensità e durata significativa; infatti tutti gli eventi presi in considerazione in questo lavoro hanno causato fenomeni di dissesto.

Tuttavia come si evince dal grafico alcuni eventi hanno provocato dissesti idrogeologici pur trovandosi al di sotto di tale soglia. La motivazione è da ricercarsi nelle cause scatenanti il dissesto che, con un'attenta analisi dei rapporti d'evento, sono risultate essere ascrivibili a fattori predisponenti quali geografia del territorio, cause antropiche o piogge pregresse.

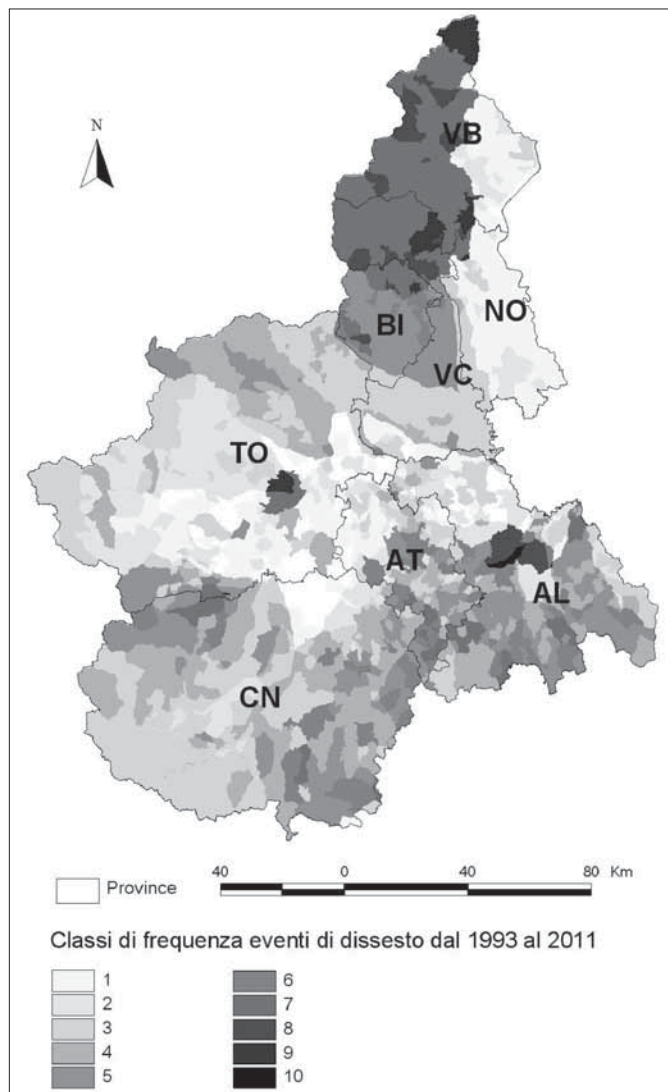
Si può portare come esempio l'evento pluviometrico del 26-28 Aprile 2009 già citato in precedenza. Tali cause hanno provocato una veloce risposta alle precipitazioni dell'evento nonostante queste non fossero di intensità e durata tali da provocare da sole l'innesco del fenomeno gravitativo o di piena.

I dati elaborati dai rapporti d'evento relativi all'ubicazione dei fenomeni di dissesto sono infine stati rappresentati (Fig. 5) in base a classi di frequenza che vanno da 1 a 10 (rispettivamente aree meno interessate da fenomeni di dissesto e aree maggiormente colpite).

Come si può notare dalla carta il Verbano-Cusio-Ossola e Biellese, corrispondenti ai bacini del Toce, Alto Sesia, Cervo, la provincia di Alessandria in corrispondenza del bacino del Basso Tanaro e l'area metropolitana del torinese.

Nello studio precedente sulle piogge intense in Piemonte (Bassi *et al.*) era stato evidenziato che nella regione le piogge intense si collocano principalmente nel settore montuoso settentrionale e secondariamente in alcune zone del settore montuoso meridionale. Questo risultato concorda con quanto evidenziato dalla cartografia sopra citata,

Figura 5 – Cartografia del Piemonte che riporta le classi di frequenza dei dissesti idrogeologici dal 1993 al 2011; le aree più scure sono quelle maggiormente interessate dai fenomeni.



dimostrando così una correlazione tra aree maggiormente piovose e frequenza del dissesto.

4. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati riassunti i principali eventi pluviometrici intensi che hanno interessato il Piemonte e causato dissesti idrogeologici, esaminando i Rapporti di Evento redatti da Arpa Piemonte e Regione Piemonte a partire dal 1993 ad oggi. Tale studio ha portato alla realizzazione di una carta che definisce i settori di territorio caratterizzati dalla maggiore frequenza degli eventi di dissesto idrogeologico. Tali settori sono quelli del Verbano-Cusio-Ossola e Biellese, corrispondenti ai bacini del Toce, Alto Sesia, Cervo, la provincia di Alessandria in corrispondenza del bacino del Basso Tanaro e l'area metropolitana del torinese.

Si è cercato poi un confronto tra gli eventi di dissesto e millimetri di pioggia cumulata, evidenziando generalmente una buona correlazione; nei casi considerati in cui questa correlazione non si verifica, si è ipotizzata una concomitanza tra fattori predisponenti oltre alla causa scatenante data dalle precipitazioni.

Queste considerazioni trovano conferma nei grafici proposti in letteratura che mettono in relazione la durata e l'intensità delle precipitazioni, dove tali eventi si collocano al di sotto di una soglia di innesco.

BIBLIOGRAFIA

- BASSI M., COLOMBINO G., CREMONINI R., MASCIOCOCCO L. (2010), *Analisi delle piogge intense in Piemonte*.
 MOSER M., HOHENSINN F., (1983), *Geotechnical aspects of soil slips in alpine regions*. Eng. Geol., 19: 185-211.
 RAPPELLI F. (2008), *Definizione delle soglie pluviometriche d'innesco di frane superficiali e colate torrentizie: accorpamento per aree omogenee*. Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia, Rapporto Finale, Settembre 2008.
 REGIONE PIEMONTE - ASSESSORATO AMBIENTE, CAVE E TORBIERE, ENERGIA, PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE, LAVORI PUBBLICI E TUTELA DEL SUOLO, (1996), *Gli eventi alluvionali del settembre-ottobre 1993 in Piemonte*.
 REGIONE PIEMONTE - ASSESSORATO AMBIENTE, CAVE E TORBIERE, ENERGIA, PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE, LAVORI PUBBLICI E TUTELA DEL SUOLO, (1998), *Eventi alluvionali in Piemonte*.

www.arpa.piemonte.it

Studio della frana di contrada Barba a Sant'Angelo di Brolo (Messina)

BASILE GIUSEPPE
Geologo, Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana

CAPPOTTO FILIPPO
Geologo, libero professionista

INTRODUZIONE

Nei primi mesi del 2010, il comprensorio tirrenico dei Monti Nebrodi (Sicilia, provincia di Messina; Fig. 1) è stato diffusamente interessato da un grande numero di dissesti geomorfologici, più o meno rilevanti e gravi sotto l'aspetto dei danni (San Fratello, Caronia, Naso, Ucria, Piraino, Brolo, Sant'Angelo di Brolo, Castell'Umberto, Sinagra, Montagnareale, Librizzi, Tusa, Raccaia, Patti, Ficarra, Militello Rosmarino, ecc).



Figura 1 – area del comprensorio Nebroideo colpito dalle frane nel bimestre gennaio-febbraio 2010.

A Sant'Angelo di Brolo (ME) si è innescato un grande dissesto di versante (circa 60 ettari) che ha distrutto due strade comunali (rendendo difficoltoso e talora impossibile l'accesso alle proprietà private), ha danneggiato e in qualche caso distrutto edifici di civile abitazione e rurali, ha del tutto scomparinato i terreni coltivati.

Per intraprendere azioni volte a mitigare gli effetti del fenomeno, per lo meno nelle porzioni che interessano da vicino i principali beni esposti, era necessario comprendere i meccanismi che hanno causato la frana. A tal fine, è stato condotto un accurato rilievo geologico e geomorfologico che ha posto le basi per l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche che aveva lo scopo, tra l'altro, di verificare le ipotesi che erano scaturite dalle osservazioni di superficie.

IL CONTESTO GEOLOGICO

Nell'area di Sant'Angelo di Brolo (Fig. 2) affiora la formazione miocenica tardorogena, precollisionale, del flysch di Capo d'Orlando (Ogniben, 1960; Lentini e Vezzani, 1975), poggiante in discordanza sulla parte più elevata (unità Aspromonte) delle falde metamorfiche che costituiscono l'arco Calabro-Peloritano.

Il flysch di Capo d'Orlando è costituito da una copertura molassica, databile in dettaglio al Chattiano-Burdigaliano inf. (Lentini *et alii*, 1995), che sutura i contatti tettonici di ricoprimento al tetto delle unità del basamento cristallino kabilo/calabride (Paleozoico), costituenti il margine più elevato della catena orogenica siciliana. Tali unità risultano impilate in una complessa struttura a scaglie con vergenza africana e costituiscono l'ossatura dei monti Peloritani, parte meridionale dell'arco.

La deformazione e la messa in posto delle falde metamorfiche è dovuta all'instaurarsi del regime compressivo (Cretaceo-sup.) responsabile della convergenza e della collisione tra le placche europea ed africana.

Il progredire delle deformazioni sull'edificio montuoso già strutturato e la tettonica compressiva hanno generato superfici di discontinuità con accavallamenti a rampa, agenti anche tra scaglie embriciate di una stessa unità metamorfica principale, contem-

poraneamente alla deposizione del flysch di Capo d'Orlando, coinvolto anch'esso da tale dinamica.

Gli elementi strutturali così formati in epoche più recenti (Pliocene superiore) sono stati erosi, smembrati e dislocati dalla sovrapposizione neotettonica dovuta all'attivazione di faglie trascorrenti NW-SE con associate faglie antitetiche orientate NE-SW e faglie normali orientate N-S (Catalano *et alii*, 1996).

La dinamica anzi descritta determina nel territorio di interesse un assetto geologico-strutturale geometricamente complesso e frammentato, dove il flysch di Capo d'Orlando si appoggia, con contatto fortemente inclinato, sul basamento cristallino dell'Unità Aspromonte affiorante nei rilievi alto-collinari, suturandone il contatto con le sottostanti filladi dell'unità Mandanici, affioranti nel fondovalle.

Il flysch di Capo d'Orlando costituisce il substrato litologico al letto della frana, in parte ed anche significativamente interessa-

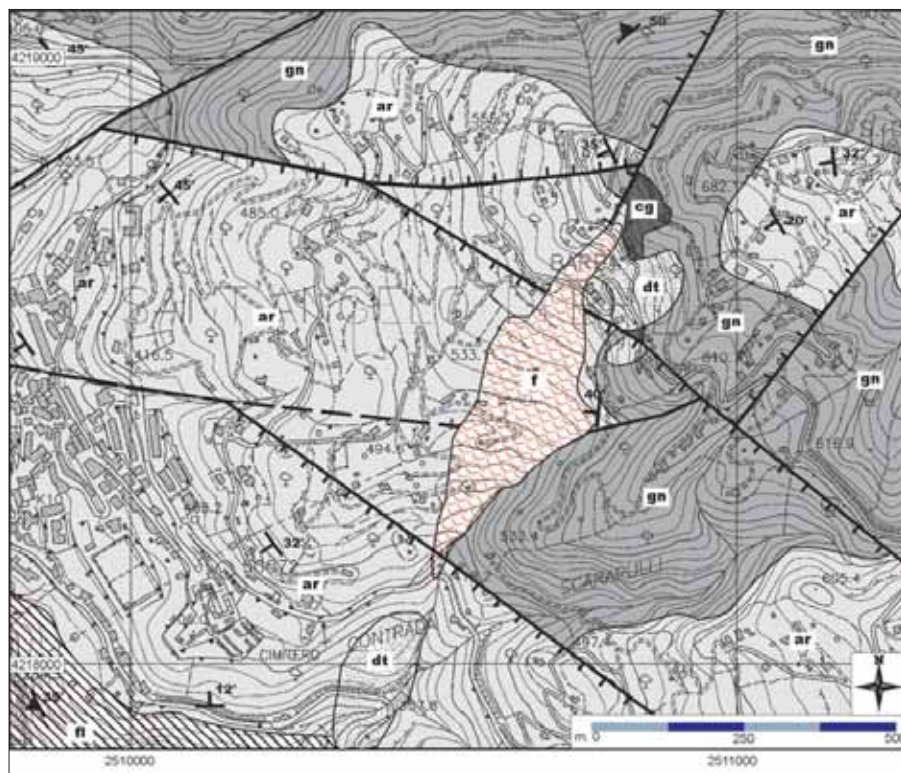


Figura 2 – Carta geologica generale. f: frana di C.da Barba; dt: detrito di versante/frana; ar: alternanza arenaceo-pelitica del Flysch di Capo d'Orlando (Chattiano-Burdigaliano); cg: conglomerati poligenici del Flysch di Capo d'Orlando (Chattiano inf.); gn: gneiss occhiadini e pegmatiti dell'Unità di Aspromonte (Pre-Trias); fl: filladi sericitiche dell'Unità di Mandanici (Pre-Trias). Coordinate della carta in Gauss-Boaga.

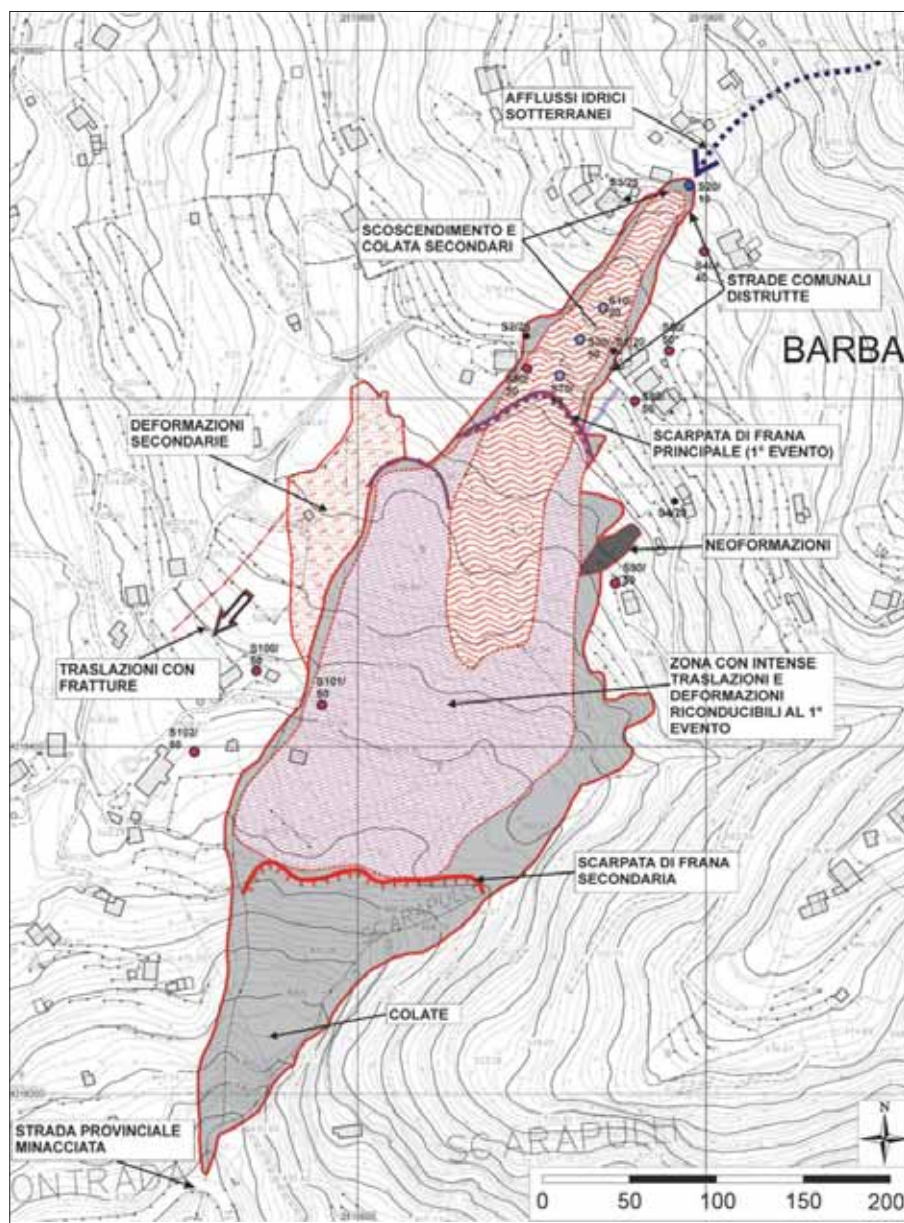


Figura 3 – Carta geomorfologica schematica della frana di Contrada Barba.

to dalle dinamiche geomorfologiche attuali ed antiche. Esso si presenta con assetto giaciturale monoclinale a franapoggio, con inclinazioni variabili intorno ai 25°-35°, dislocato a gradini digradanti verso SO. Gli orizzonti basali sono rappresentati da sequenze ritmiche prevalentemente pelitiche, con spessori di svariate decine di metri, poggianti (onlap) su lembi conglomeratici discontinui canalizzati; la Formazione evolve al tetto verso porzioni francamente arenacee, affioranti sul margine sud-occidentale del dissesto in prossimità dell'abitato di Sant'Angelo di Brolo.

Tale struttura condiziona notevolmente la circolazione idrica sotterranea, causando effetti anche a piccola scala; infatti, il corpo idrogeologico culminante con i rilievi gneissici di Monte Centarberi (1013 msm) e di Serra Frittulara (927 msm) indirizza verso l'area studiata flussi idrici rilevanti che permeano nel conglomerato basale e/o determinano l'emergenza di una moltitudine di piccole sorgenti per soglia sovrainposta che traboccano

in prossimità del contatto basamento/flysch, o circolano orientate negli strati flyschoidi, determinando in vari casi la presenza di falde confinate dagli orizzonti più argillosi.

DESCRIZIONE DEL DISSESTO

La frana si è manifestata intorno al 10 febbraio 2010 coinvolgendo la strada comunale inferiore, che ha cominciato a crollare, e i terreni a valle; progressivamente, si è propagata verso monte, determinando un profondo scoscendimento che ha distrutto, il 13 febbraio, la strada comunale superiore e una conseguente colata di terra che ha mascherato le forme relative al primo distacco; i fianchi della frana andavano rapidamente progredendo, comportando un interessamento complessivo di territorio di circa 60 ha; dal 14 febbraio 2010 ad oggi si sono avuti ulteriori crolli dei fianchi di frana e parziali arretramenti del coronamento causati dalla circolazione idrica nell'ambito delle porzioni detritiche del versante.

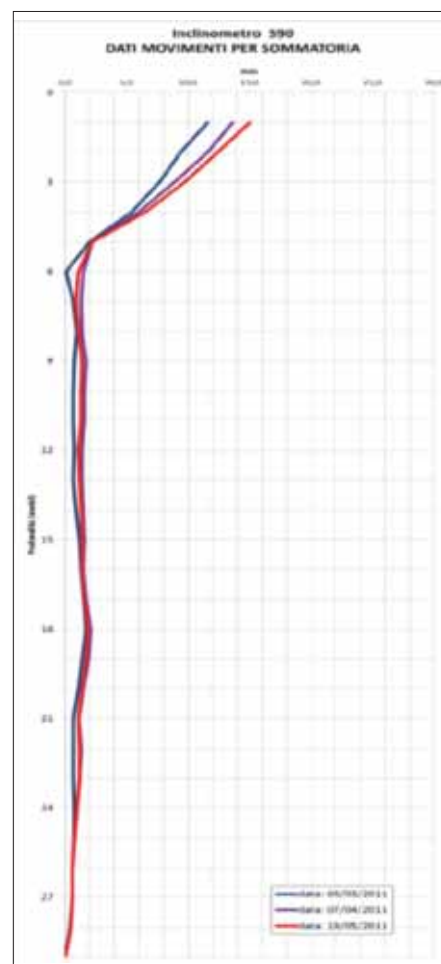


Figura 4 – Deformate inclinometriche del foro S90.

Il fenomeno non è nuovo anche se mai si era evoluto in questo modo: si ha notizia che negli anni '70 si manifestò una lunga frattura nel terreno, in prossimità dell'attuale bordo destro della frana, che provocò un modesto abbassamento del terreno e danni ai corpi di fabbrica (un edificio adibito a scuola fu seriamente lesionato; oggi nello stesso luogo vi è un'abitazione, realizzata nei primi anni '80, interessata dal dissesto attuale). La circostanza, della quale non è stata trovata alcuna documentazione, fa ritenere ancora più probabile la presenza di strutture tettoniche (faglie) che condizionano l'assetto geomorfologico del versante.

Il dissesto è da ricondurre ad una tipologia complessa nella quale sono riconoscibili (Fig. 4):

- uno scivolamento a direttrice cilindrica che ha avuto origine nella porzione medio-superiore del versante, con scoscendimento apparente dell'ordine delle decine di metri (dalle ricostruzioni effettuate, è chiaro che tale fenomeno sia stato il primo in ordine cronologico e quello che ha innescato il processo più a monte); il coronamento, così come la superficie di distacco, sono perlopiù sepolti dalla colata successiva (B);
- uno scivolamento a leggera direttrice cilindrica nella porzione di monte del ver-

sante (lunghezza: ca. 125 m; larghezza: ca. 50 m) che coinvolge la coltre detritica (costituita in parte da depositi di antiche frane, in parte da colluvio, in parte dall'orizzonte degradato del flysch) e parziali lembi del flysch in facies argillosa sottostanti il detrito; la scarpata di frana ha altezza di circa 5-6 metri e prosegue con labbri sub-verticali, di altezza intorno agli 8 metri, che delimitano il corpo franoso nella direzione della lunghezza;

- C. una colata di detrito (lunghezza: ca. 600 m; larghezza: ca. 90 m) che si sviluppa fino a valle assumendo forme diverse, fino alla colata di argilla nella porzione terminale;
- D. una fascia laterale di intense deformazioni, particolarmente sviluppata lungo il fianco destro della colata (larghezza: ca. 150 m), che ha interessato gli orizzonti arenaceo-argillosi alterati del flysch di Capo d'Orlando; le deformazioni si manifestano con rotture progressive del terreno, gradini di altezza intorno al metro, rilevanti traslazioni specie in prossimità delle rotture di pendenza e rigonfiamenti.

Nei mesi successivi all'innescò si sono registrati fenomeni retrogressivi in alcune porzioni lungo il fianco sinistro della frana; la profondità della rottura, rilevata dalle prime misure inclinometriche, è intorno ai 6 metri (Fig. 4).

Nelle porzioni all'interno alla frana, in prossimità del distacco principale (A), sono state misurate piccole deformazioni residue, da tenere comunque sotto controllo.

In un solo caso, in un settore prossimale ma esterno all'attuale dissesto, è stata rilevata una probabile deformazione profonda (intorno ai 33 metri) che non pare possa essere messa direttamente in relazione con il fenomeno del febbraio 2010. Anche in questo caso, le osservazioni programmate dovrebbero chiarire la questione.

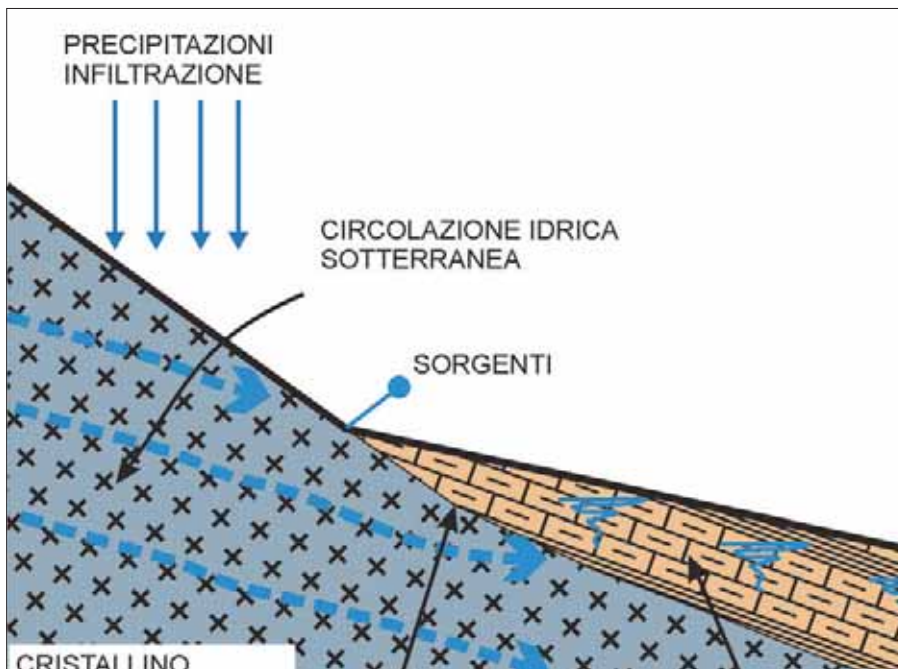


Figura 5 - Schizzo iniziale illustrante lo schema idrogeologico ipotizzato.

LE CAUSE

Dalle prime ricostruzioni, basate sulle sole osservazioni di superficie, è stato ipotizzato che il meccanismo di innescò del dissesto potesse essere stato in gran parte condizionato dai rapporti giaciture tra le Formazioni e dalla circolazione idrica sotterranea (Fig. 5).

Sulla base dello schema concettuale illustrato in figura, i fattori che avrebbero potuto favorire l'innescò del fenomeno franoso si sarebbero dovuti individuare proprio nelle dinamiche idrogeologiche conseguenti al contrasto di permeabilità tra metamorfico e sedimentario.

In effetti, la campagna di indagini geognostiche (perforazioni, geofisica, prove geotecniche in situ e in laboratorio) ha permesso di ricostruire con buona approssimazione la successione lito-stratigrafica del versante

interessato dal dissesto e, come mostrato in Fig. 6, le ipotesi iniziali sono state sostanzialmente confermate.

In particolare, è stato possibile accertare che:

- l'assetto lito-stratigrafico, laddove indagato dalle perforazioni eseguite (profondità massima: 50 metri), è caratterizzato da un'alternanza di arenarie fratturate, silti e argille scagliettate connotata da estrema irregolarità spaziale; tra il sedimentario e il cristallino è stato talora rinvenuto un potente pacco di conglomerati fortemente cementati (fino a 20 metri di spessore) sede di abbondante circolazione idrica in pressione; in prossimità della corona di frana superiore, una tomografia elettrica ha permesso di individuare un'alimentazione idrica canalizzata (Fig. 7);

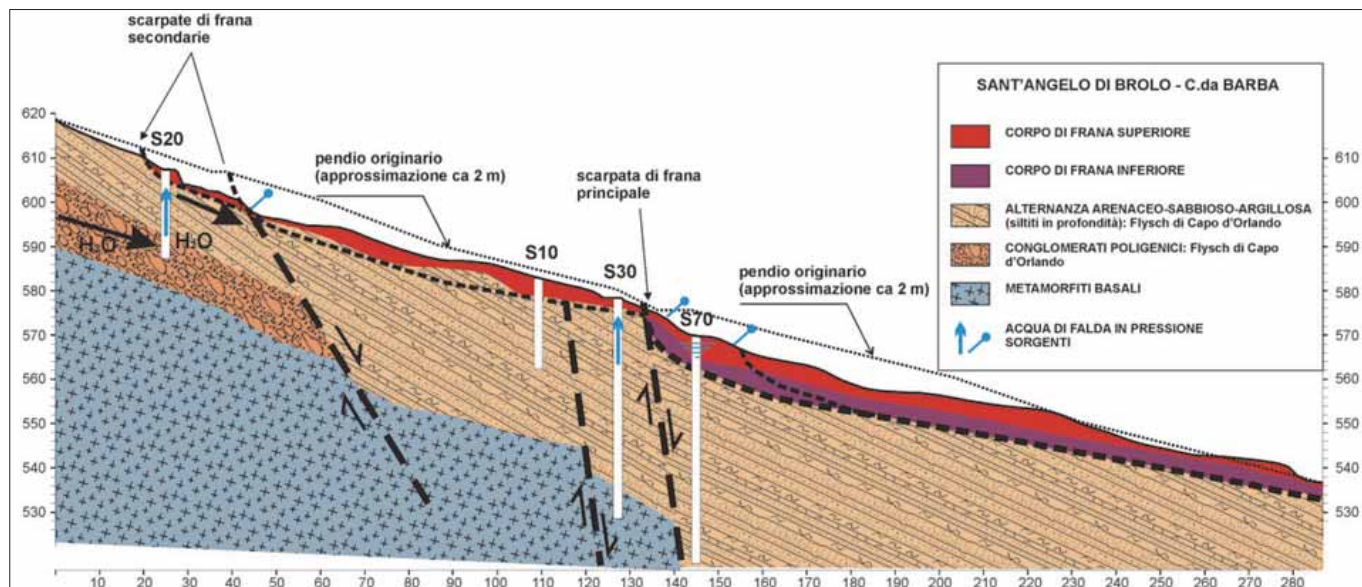


Figura 6 - Sezione geologica longitudinale (terzo superiore della frana); la presenza delle faglie (tratteggiate in quanto presunte) consegue ai rilievi di superficie, ad analisi del DTM e ai risultati della geofisica (sismica attiva a riflessione e rifrazione e allineamenti di sismica passiva).

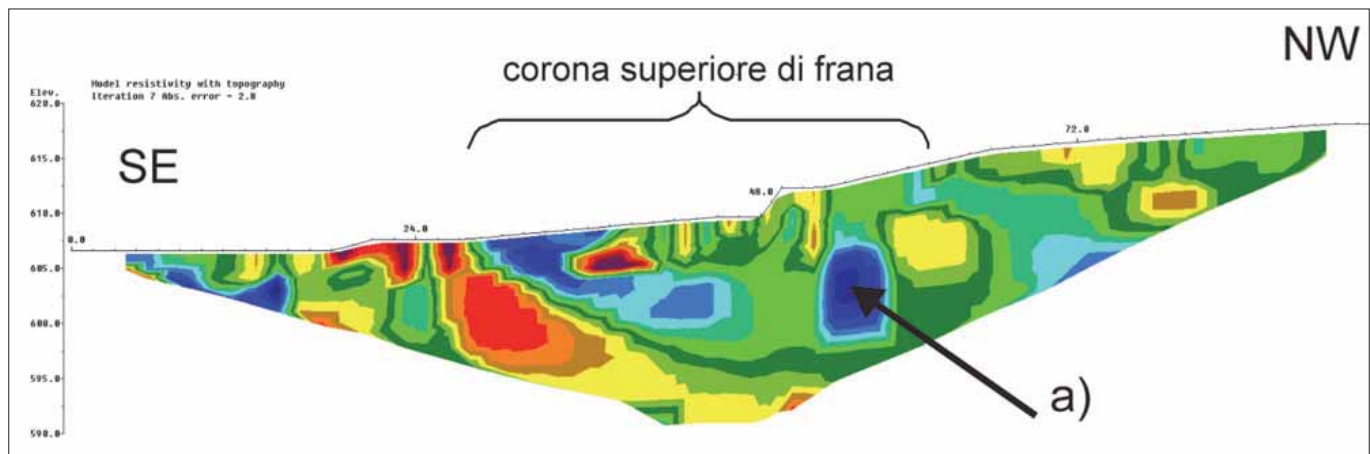


Figura 7 – Tomografia elettrica trasversale alla corona superiore di frana; a) settore confinato a bassa resistività (il sondaggio meccanico ha confermato l'esistenza di acqua in pressione).

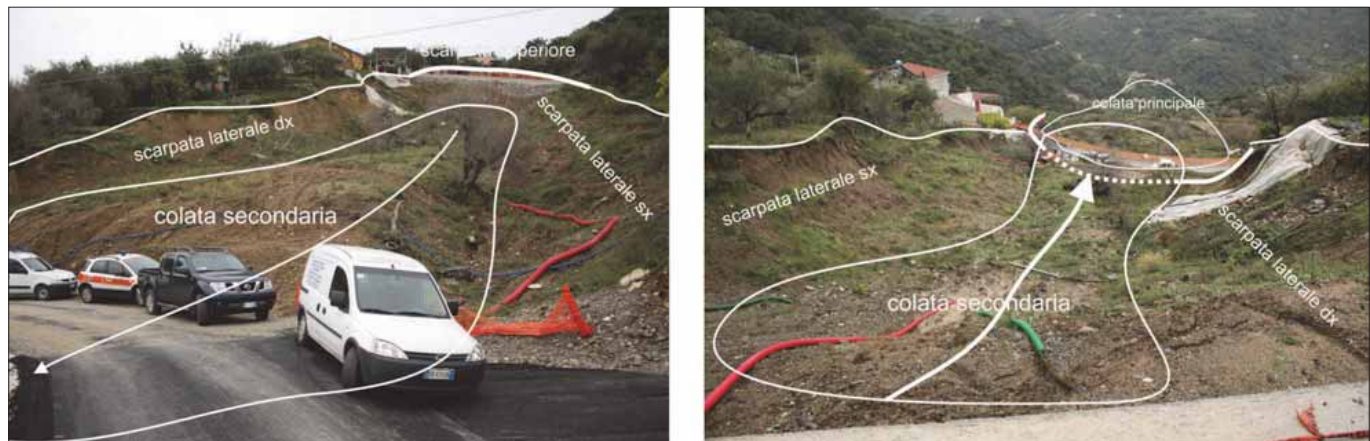


Figura 8 – Immagini della porzione superiore della frana dal basso (a sinistra) e dall'alto (a destra).

- all'interno del flysch di Capo d'Orlando sono state incontrate modeste falde acquifere discontinue e confinate;
- il detrito di frana (argille limoso-sabbiose caotiche e plastiche con spessore fino a 8 metri circa) è generalmente imbibito di acqua fino al piano-campagna;
- vi sono molti elementi (allineamenti morfologici, bruschi salti di quota del contatto sedimentario/cristallino, indagini geognostiche indirette) per ritenere verosimile la presenza di strutture tettoniche che hanno un ruolo significativo nella distribuzione delle acque sotterranee.

CONSIDERAZIONI FINALI

L'approccio geologico per la sistemazione delle frane è essenziale; in questo caso, accurati rilevamenti sono serviti per comprendere i rapporti tra le diverse Formazioni e le implicazioni in tema idrogeologico che hanno potuto regolare i meccanismi di innesco di questa grande frana. Le indagini geognostiche, pianificate in funzione delle osservazioni di superficie, hanno permesso di accertare la complessità geologica del versante, intuita già in fase iniziale e gli stretti rapporti tra tettonica e circolazione idrica.

L'insieme delle osservazioni e deduzioni ha permesso di suggerire ai progettisti le soluzioni da adottare tenendo presente che una

frana con le caratteristiche sopra illustrate non può essere consolidata a costi accettabili nella sua interezza: il dissesto coinvolge volumi di terreno così grandi (superficie: circa 60 ha; volume stimato: circa 300 mila mc) che occorrerebbero risorse ingenti, con risultati per niente scontati in termini di stabilizzazione, non giustificati dal contesto socio-economico.

Di certo, l'allontanamento, seppur parziale, delle infiltrazioni che provengono da monte può contribuire in modo significativo a diminuire il contenuto d'acqua che plasticizza la coltre di terreno superiore la cui consistenza è molto bassa (da 20 a 80 kN/mq, valori ottenuti da prove scissometriche in foro). Tuttavia, le caratteristiche dell'acquifero e il contesto orografico fanno sì che tale drenaggio non possa essere realizzato con semplici setti scavati in quanto le profondità da raggiungere sono considerevoli (ca 10 metri).

La porzione interessata dalla colata superiore, che oggi si manifesta come una sorta di cratere allungato (Fig. 8), dovrà essere necessariamente regolarizzata per impedire l'arretramento delle scarpate laterali con conseguente interessamento degli edifici posti ai bordi. A tal riguardo, dall'insieme delle indagini, delle osservazioni e delle valutazioni conseguenti lo studio effettuato, è emerso che le uniche opere ritenute possibili sono le

gradonate di terre armate, opportunamente sagomate per sostenere le scarpate laterali; anche in questo caso, le geometrie in gioco (pendenze, lunghezze) sono tali che l'intervento sarà senz'altro costoso e complesso dal punto di vista realizzativo.

BIBLIOGRAFIA

- BONARDI G., GIUNTA G., LIGUORI V., PERRONE V., ROSSO M., ZUPPETTA A., CIAMPO G. (1980). *Osservazioni sull'evoluzione dell'arco calabro-peloritano nel miocene inferiore: La formazione Stilo-Capo d'Orlando*. Boll. Soc. Geol. It., 99, 365-393.
- CARMISCIANO R., PUGLISI D. (1982). *Studio sedimentologico-petrografico del flysch di Capo d'Orlando nei Peloritani occidentali (Sicilia)*. Min. Petr. Acta, 22, 119-140.
- CATALANO S., DI STEFANO A., & VINCI G. (1996). *Tettonica e sedimentazione nell'Oligo-Miocene lungo l'allineamento Raccaia-Novara di Sicilia-Capo S. Alessio nei Monti Peloritani (Sicilia nord-orientale)*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 165-177.
- LENTINI F. (1993). *Carta Geologica del Golfo di Patti (Sicilia settentrionale)*. S.El.CA., Firenze.
- LENTINI F., CATALANO S., CARBONE S. (2000). *Carta Geologica della Provincia di Messina*. S.El.CA., Firenze.
- LENTINI F., VEZZANI L. (1975). *Le successioni Meso-Cenozoiche della copertura sedimentaria del basamento cristallino peloritano (Sicilia nord-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., 94, F. 3, 537-554.
- OGNIBEN L. (1960). *Nota illustrativa dello Schema geologico della Sicilia nord - orientale*. Riv. Min. Sic., 64-65, 183-212.

L'emergenza Nebrodi 2010 in Sicilia

Considerazioni sulle cause dei dissesti idrogeologici e attività di prevenzione a fini di protezione civile

GIUSEPPE BASILE
Geologo, Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana

MICHELE ORIFICI
Geologo, libero professionista, coordinatore del Nucleo Geologi Emergenza Nebrodi

MARINELLA PANEBIANCO
Architetto, Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana

INTRODUZIONE

Tra i mesi di settembre 2009 e novembre 2010, in Sicilia si sono verificate criticità (alluvioni e frane), direttamente correlabili alle avverse condizioni meteorologiche, che hanno messo a dura prova l'intero sistema socio-economico regionale (si stima un danno pari a circa 1 miliardo di euro); in un caso (1° ottobre 2009), nei comuni di Messina e Scaletta Zanclea, ci sono state 37 vittime causate dalle colate di fango che hanno investito centri abitati e strade.

Sebbene le criticità abbiano interessato diffusamente l'intera regione, la provincia più colpita è stata, in assoluto, quella di Messina (nei due versanti ionico e tirrenico) con fenomenologie di dissesto differenti per tipologia e per cause di innesco.

Poiché la stragrande maggioranza dei fenomeni di dissesto si è verificata in luoghi abitati dall'uomo o che, comunque, con l'uomo hanno un rapporto diretto (economico, abitativo, di transito), si manifesta la necessità di convivere con il rischio idrogeologico; ciò significa, focalizzare quali errori sono stati fatti affinché non si ripetano nel futuro, provvedere con opere strutturali che mirino alla mitigazione del rischio e adottare un sistema di controllo a vista o strumentale del territorio per il monitoraggio dei sistemi più critici e l'avvio dei consequenziali provvedimenti di prevenzione (piani di protezione civile).

IL CONTESTO EMERGENZIALE DEL 2010

Tra i mesi di febbraio e marzo del 2010, quasi contemporaneamente si sono verificate frane in numerosi comuni della fascia tirrenica della provincia di Messina:

Sant'Angelo di Brolo in C.da Barba: frana di scorrimento e colata (ca 60 ha), due strade comunali distrutte, frazioni isolate, a rischio una decina di edifici di civile abitazione, evacuate 30 persone;

Sant'Angelo di Brolo in C.da Cartelli: frana di scorrimento (ca 2 ha), danneggiate due strade provinciali, a rischio una decina di edifici di civile abitazione;

San Fratello: frana di scorrimento (ca 120 ha), ingenti danni nelle aree rurali, gravissimi danni nel centro abitato, a rischio l'intero paese, evacuate 1400 persone;

Castell'Umberto in C.da Sfaranda: frana di scivolamento (ca 12 ha), gravi danni nel centro abitato, a rischio l'intera frazione, evacuate 80 persone;

Caronia in C.da Lineri: frana di scorrimento e colata (ca 70 ha), gravi danni nelle aree rurali, numerose abitazioni distrutte, a rischio edifici di civile abitazione, evacuate 100 persone;

Sinagra in C.da San Pietro-Faranò: frana di scorrimento (ca 5 ha), gravi danni a edifici di civile abitazione, evacuate una decina di persone; altre frane nelle contrade Mulinazzo, Giacchetto-Monaci, Martini, Cupane e Patri;

Librizzi in C.da Nasidi: frana di scorrimento (ca 25 ha), gravi danni a strade comunali e intercomunali e a edifici di civile abitazione, a rischio l'intera frazione, evacuate 4 persone;

Librizzi centro abitato: frana di scorrimento (ca 5 ha), gravi danni a strade comunali e intercomunali e a edifici di civile abitazione, a rischio l'intero centro abitato, evacuate una decina di persone.

Altre frane si sono verificate a: **Alcara Li Fusi** (cimitero, quartiere Rosario, C.de Marino, Stella e Vurparo), **Caprileone** (c.da Santa Tecla), **Frazzanò** (Serro Crucitti, Vallone Aia, C.da S. Andrea), **Galati Mamertino** (centro abitato, C.de Galini e Paratore, strada di scorrimento veloce), **Gioiosa Marea** (C.de Casale e Maddalena), **Longi** (centro), **Militello Rosmarino** (centro), **Montagnareale** (SP di ingresso al centro abitato, depuratore, C.de Casitti, Cartistia, Fiumitello, Laurello, Zappuneri e

Casaleni), **Naso** (centro abitato, frazioni Malò e Due Fontane), **Patti** (C.de Spirini, Paesana, San Giovanni, Gallo, Scala di Patti), **Pettineo** (C.da Stranchi), **Piraino** (c.da Lacco), **Raccuia** (frazione Zappa), **San Marco d'Alunzio** (C.de San Marco e Santa Domenica), **Santo Stefano di Camastra** (varie località), **Tortorici** (C.de Potame, San Costantino e Zappulla), **Tusa** (SP di ingresso al centro abitato, C.da Rocca Marina), **Ucria** (centro abitato).

Di fronte a tale situazione generalizzata di dissesto idrogeologico, il solo personale degli Enti Locali e della Regione non poteva essere sufficiente in quanto era necessario effettuare i sopralluoghi, comprendere la natura della criticità, esprimersi sul rischio residuo, valutare l'opportunità di effettuare un monitoraggio seppur speditivo e supportare gli Enti Locali in tutte quelle attività e interventi tecnici atti a scongiurare, laddove possibile, evoluzioni peggiorative dei fenomeni. L'Ordine dei Geologi di Sicilia, in raccordo con il Dipartimento Regionale di Protezione Civile, ha istituito un elenco di geologi volontari che sono intervenuti sui luoghi dell'emergenza svolgendo, tra l'altro, attività di presidio territoriale. L'iniziativa ha consentito, nell'immediato, una rapida ricognizione dello stato dei luoghi e, successivamente, un'adeguata azione di monitoraggio nelle aree ancora a rischio.

A seguito di tale proficua attività, tra la Regione Siciliana e l'Ordine Regionale dei Geologi è stata stipulata una convenzione che

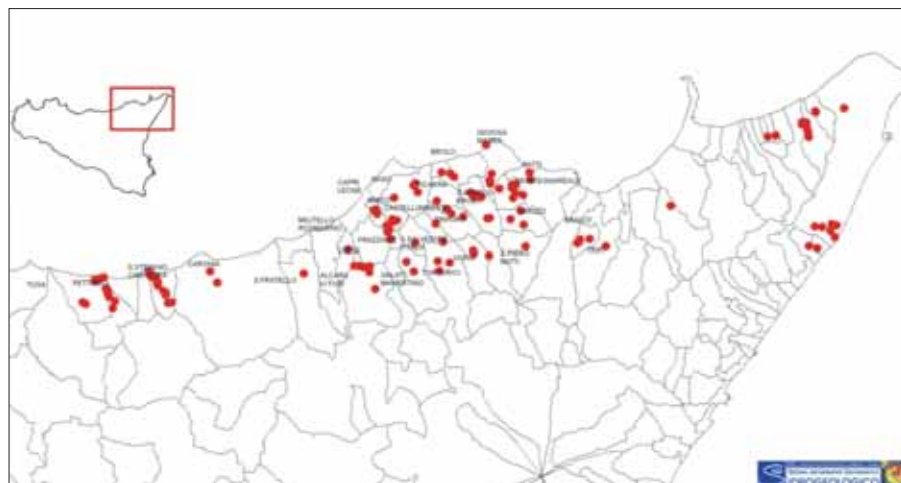


Figura 1 – Distribuzione delle principali frane del 2010 nel comprensorio Nebroideo.

prevede l'istituzione dei presidi territoriali da parte del Dipartimento Regionale della Protezione Civile, a fronte di un contributo per rimborso spese nei confronti dei professionisti attivati in caso di necessità.

Dopo il primo semestre di attività in regime di convenzione DRPC-ORGS, emergono alcuni aspetti di interesse che possono essere così sintetizzati:

1. Rapidità di intervento: in caso di segnalazione di dissesti che richiedono una prima valutazione in termini di salvaguardia della pubblica e privata incolumità, si riesce a inviare i geologi in tempi immediati (entro un'ora);
2. Screening delle criticità: l'invio periodico dei presidi territoriali permette di conoscere la situazione evolutiva dei dissesti di natura geomorfologica e di avviare, di conseguenza, tutte quelle azioni di prevenzione dei rischi ritenuti utili a fini di protezione civile;
3. Sensibilizzazione: i tecnici degli Enti Locali, che sono chiamati a concorrere nelle attività di presidio insieme ai geologi, hanno l'opportunità di intraprendere un corretto approccio decisionale nell'ambito della pianificazione di protezione civile.

Le emergenze succedutesi nell'ultimo biennio hanno formato dunque uomini e professionalità adeguate per le attività di protezione civile, riconoscendo altresì al geologo in tali situazioni anche un indiscutibile e importante "ruolo sociale".

Chi ha operato sul campo, infatti, ha constatato l'evoluzione dei fenomeni morfologici, le cause innescanti, i danni provocati e il conseguente amaro disagio della popolazione colpita.

Tutto ciò, oltre ad aver imposto ad ogni geologo profondi spunti di riflessione utili a rispolverare i sani principi di "etica professionale", talvolta dimenticati e calpestati, ha manifestato l'esigenza improrogabile di specializzare questa figura professionale ritenuta finalmente da tanti indispensabile.

CONSIDERAZIONI SULLE CAUSE

Si punta sempre molto sull'accertamento delle cause dei dissesti idrogeologici, anche se poi, non essendo quasi mai noti per intero i meccanismi che regolano i processi di formazione delle frane, ci si rifugia in generiche affermazioni sulla "mancanza di regimentazione delle acque".

Il problema è complesso: occorre distinguere gli eventi franosi che si sono sviluppati in ambito urbano da quelli in ambito extraurbano ed entrare nel merito di aspetti diversi.

È indubbio che nel periodo gennaio-febbraio 2010 nel comprensorio nebroido sia piovuto molto (Fig. 2). Anche ammettendo che il calcolo delle piogge cumulate quale

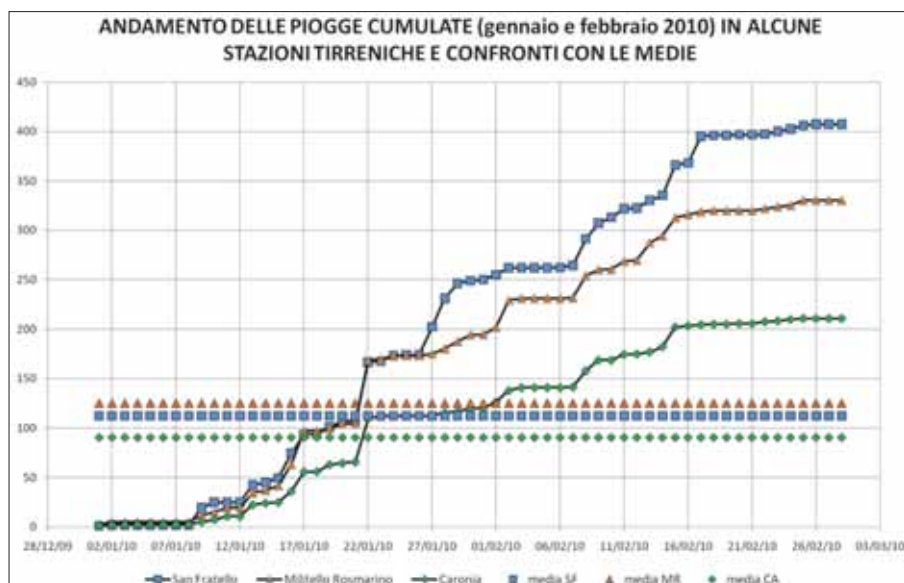


Figura 2 – Precipitazioni dei mesi di gennaio e febbraio e medie storiche.

mera sommatoria delle piogge giornaliere non tenga conto delle perdite per infiltrazione ed evaporazione, si intuisce che già nella terza decade di gennaio le quantità di precipitazione avevano raggiunto le medie storiche che poi, a fine periodo, sono state superate da 2 a 4 volte circa.

Tuttavia, ciò non aiuta a individuare tutte le cause perché, analizzando le serie storiche di piovosità, è certo che vi sono stati molti anni in cui è piovuto molto di più rispetto al 2010; pertanto, la questione è da vedere sotto molteplici punti di vista considerando:

- la rappresentatività delle stazioni meteo di riferimento rispetto al luogo dove è avvenuto il dissesto e la distribuzione delle piogge giornaliere;
- il cambiamento delle condizioni al contorno (costruzione di strade e di edifici, utilizzazione del suolo, ecc);
- l'efficacia dello smaltimento delle acque di superficie.

I dati andrebbero analizzati singolarmente per ciascun dissesto, ma sfuggirebbe sempre qualcosa per la semplice ragione che non sono noti tutti i processi che regolano l'infiltrazione e la circolazione delle acque nel sottosuolo e il conseguente innesco dei fenomeni franosi.

Un altro elemento sul quale vi è una certezza "generica" è quella della geologia: è noto che l'assetto geologico dei Nebrodi è molto complesso in quanto i rapporti tra basamento cristallino e sedimentario orogeno e post-orogeno sono caratterizzati da strutture tettoniche di compressione e di distensione (UNICT, 2000), non tutti distinguibili sul terreno mediante rilevamenti speditivi. Anche in questo caso, nell'ipotesi che si riconoscano i rapporti giacaturali e strutturali tra le diverse Formazioni, rimangono sempre nel vago le "reali" cause che possono aver determinato i dissesti geomorfologici, nel senso che sfugge

la puntuale concatenazione degli effetti che porta poi a stabilire un processo (cinematismo) cui attribuire valori caratteristici in termini fisici da tradurre in sforzi e quindi in unità ingegneristiche valide ai fini della scelta delle soluzioni progettuali.

Pertanto, semplificando, è quasi sempre l'acqua che viene chiamata in causa quale elemento primario di innesco dei dissesti, anche quando si tratta di riattivazioni di vecchie frane. E tuttavia, l'ampia casistica offerta dagli eventi del 2010 in provincia di Messina offre l'opportunità di approfondimenti.

A tal riguardo, il Dipartimento Regionale della Protezione Civile ha finanziato numerose campagne di indagini geognostiche e di monitoraggio strumentale, ancora in corso, per accertare le condizioni litologico-stratigrafiche nelle quali si sono attivate le frane; trattandosi di dissesti molto vasti, con manifestazioni al suolo molteplici anche nell'ambito del medesimo corpo di frana e che espongono beni aventi valori differenti in relazione al contesto locale, le indagini sono sempre onerose, articolate come tipologia e, in ragione della variabilità della geologia, possono restituire modelli geologici affetti da un grado di schematizzazione elevato e quindi non del tutto esaustivi.

Importanti fattori che condizionano la ricostruzione delle successioni litostratigrafiche sono strettamente dipendenti sia dalla modalità di esecuzione dei fori di sondaggio, sia dalla descrizione del materiale estratto (tecniche, procedure e terminologie molto legate all'esperienza degli operatori e non sufficientemente o affatto standardizzate).

Ciò ha reso più difficoltoso il lavoro di sintesi da parte della struttura di coordinamento del Dipartimento della Protezione Civile.

Altro aspetto da considerare nell'individuazione delle cause dei dissesti in ambito urbano è quello della funzionalità dei sotto-

servizi (reti fognarie): non si ha alcuna concretezza, a posteriori, che le tubazioni siano state integre e non abbiano determinato infiltrazioni, magari continue in un determinato spazio di tempo anche molto lungo, poi aumentate in occasione degli eventi piovosi ripetuti e prolungati.

Le indagini esperite mediante immissione di coloranti nelle reti hanno potuto accertare che, molto spesso, le tubazioni sono danneggiate: gli amministratori sostengono che i danni sono prodotti dai dissesti, di fatto non c'è alcun modo di appurare se sia davvero così.

I RAPPORTI TRA L'UOMO E L'AMBIENTE

Che l'antropizzazione produca una significativa alterazione degli equilibri ambientali è cosa nota: l'incremento dell'impermeabilizzazione delle superfici (estesa nel caso degli abitati, nastriforme nel caso della viabilità), l'abbandono progressivo delle campagne, la deforestazione, gli incendi, l'aumento delle emissioni di gas e particolati in atmosfera sono senz'altro fattori che determinano un innalzamento del grado di pericolosità e di rischio idrogeologico. Tuttavia, andrebbero individuati i meccanismi che inducono all'alterazione degli equilibri. Ciò, come è risaputo, non è semplice in quanto i sistemi di cui si tratta sono senz'altro complessi nella misura in cui non è agevole distinguere le relazioni tra le diverse componenti che concorrono a generare un'alterazione degli equilibri. Né ci si può "rifugiare" nella troppo semplicistica affermazione che il "clima sta cambiando": alcuni documenti storici ci fanno "ricordare" che eventi estremi erano ricorrenti anche diversi secoli fa:

"Si aggiunga poi che la concentrazione in grossi centri e la diminuzione stessa della popolazione rurale, oltre ad essere conseguenza di uno stato di guerra che durava da quasi un secolo, era un elemento delle generale diminuzione di popolazione di quegli anni, dovuti specie alla peste nera del 1347-48, (...) e

di altre calamità naturali, quali l'alluvione che, nel 1354, aveva distrutto buona parte di Catania, (...)"

"Indubbiamente però i magri pascoli dipendevano dalla scarsità delle piogge per lunghi periodi dell'anno, talora così rade da determinare quelle caratteristiche siccità che inaridivano le campagne e rovinavano i raccolti. M. parla di temperature addirittura elevate (...)"

"Le siccità dunque (...) duravano spesso a lungo, e si protravevano a volte addirittura fino ad autunno inoltrato, ritardando il regolare svolgimento dei lavori agricoli (...).

(...) In aspro contrasto con la lunga siccità egli accenna ai violenti temporali e alle disastrose inondazioni che ancora oggi affliggono le campagne di vaste zone del Meridione. La descrizione dei due temporali che si abbatterono con violenza davvero estrema sulla piana di Catania fra il dicembre 1354 e il gennaio 1355 ci danno il senso della vastità dei danni e desolazioni cui potevano andare soggette le campagne sicule per queste paurose alluvioni.

I particolari sono espressi da M. in termini apocalittici, e forse in qualche punto eccessivi, ma tali comunque da offrirci un quadro approssimativo di quei fattori climatici che, quando si scatenavano in tutta la loro forza, determinavano da soli, nell'isola, il corso dell'economia per parecchi anni. Le valli, duramente provate dalla siccità, si riempivano rapidamente di enormi masse d'acqua e ingrossavano i torrenti, già sovraccarichi di pioggia che, con i macigni e il fango trascinato dall'alto sommergevano il territorio agricolo e sradicavano gli alberi, il frumento ancora in erba e i vigneti dalle radici. Queste enormi masse d'acqua fangosa travolgevano, nella loro rovinosa corsa verso un libero sbocco, mura e siepi, (...). Ed è ovvio che tutto ciò documenta la radicale debolezza di una economia agraria incapace di provvedere adeguatamente alla regolazione delle acque, del rimboschimento sulle alture e, insomma,

esposta alle vicende climatiche in misura elevatissima come è proprio appunto nelle più arretrate forme di utilizzazione del suolo."

Questa lunga citazione, tratta da Trammontana (1963), ci fa riflettere su almeno due cose:

1. Già 700 anni fa il clima in Sicilia era caratterizzato da fenomeni estremi: siccità e alluvioni disastrose le cui descrizioni ed effetti non sono molto dissimili da quelli che facciamo e a cui assistiamo oggi;
2. L'Autore che commenta lo storico Michele da Piazza si lascia andare a considerazioni riguardanti la mancanza di un corretto uso del territorio, come oggi noi facciamo quando, in modo generico, attribuiamo alle stesse cause le problematiche del dissesto idrogeologico.

Certo, il ripetersi di fenomeni calamitosi dovuti alle piogge non può che farci riflettere sul rapporto tra l'uomo e l'ambiente. In taluni casi, è sufficientemente chiaro che le attività antropiche hanno interferito pesantemente con un territorio già di per sé soggetto al dissesto idrogeologico; in altri casi, tale interferenza è più sfumata e spesso se ne perdono le tracce nella stratificazione secolare dei tessuti urbani, anche al di fuori dei centri abitati.

Il senno di poi ci fa dire che molti insediamenti non dovrebbero stare dove sono; la ragione ci dice che oggi non si possono cancellare intere comunità per errori fatti nel passato anche perché non è così immediato, né forse possibile, trovare siti alternativi a quelli attuali senza "consumare" altro territorio.

L'esperienza di questi anni insegna che la facile generalizzazione, frutto di logiche non tecniche se non di ignoranza, non aiuta: ciascun dissesto, geomorfologico o alluvionale, va analizzato in modo approfondito perché se ne possano comprendere le cause e a nulla valgono i proclami intrisi di "buone intenzioni" se non si cambia radicalmente rotta.

Per esempio, occorrerebbe chiedersi come sia possibile consentire la costruzione di edifici in contesti geomorfologici che definire proble-



Figura 3 – Costruzioni non abusive in località con prevedibili situazioni di dissesto idrogeologico.



Figura 4 – Strada, lungo il T.te Inganno, erosa dalla piena del 18/02/2011 (1 vittima).



Figura 5 – Insediamento abitativo allo sbocco di un torrente (prov. di Messina).

matici è un eufemismo (Fig. 3) o continuare a meravigliarsi dei danni causati dal maltempo quando si permette l'irragionevole antropizzazione lungo i corsi d'acqua (Figg. 4 e 5).

Risulta del tutto ovvio che sanare situazioni del genere diventa costoso perché significherebbe intervenire radicalmente sui tessuti urbanizzati, valutare l'incidenza degli interventi in rapporto al valore degli edifici o al reddito delle imprese (nel caso di attività commerciali come quelle di Fig. 4), soppesare gli effetti delle eventuali delocalizzazioni nel contesto sociale.

Tutto ciò diventa ancora più difficile quando le persone verso le quali si indirizza un eventuale provvedimento oneroso dichiarano che le loro costruzioni sono munite di regolare autorizzazione rilasciata dal Comune, dal Genio Civile, ecc. E, a questo punto, è lecito chiedersi dove stia la distrazione o l'elusione o la non idonea preparazione delle figure professionali deputate a esprimersi.

LA PREVENZIONE

Il territorio dei Nebrodi è costellato di frazioni abitate, spesso con pochissime case, disseminate tra i monti; ne deriva che la rete viaria è molto sviluppata (strade comunali, provinciali, provinciali declassate, rurali) e per lo più impostata sulle vecchie "trazzere" che già davano da pensare all'ispettore del Genio Civile inviato dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 1865:

"Abbenchè l'affidatomi incarico non riguardi che i lavori pubblici di conto nazionale, pure mi sarebbe impossibile il far conoscere le condizioni della pubblica viabilità in Sicilia ed i relativi bisogni, se non contemplassi in un solo quadro tanto le strade nazionali (...), quanto tutte le strade provinciali e comunali, che sono mantenute esclusivamente dalle provincie e dai comuni (...).

(...) non che gli elenchi dei comuni che trovansi affatto privi di strade rotabili per comunicare coi rispettivi capoluoghi di man-

damento e che non posseggono altri mezzi di comunicazione fuorchè le così dette trazzere. (...) Il fatto è che nella stagione estiva, solitamente asciutta, il trasporto a soma sulle trazzere è tollerabile (...), ma nella stagione invernale anche il trasporto a soma per le trazzere diventa il più delle volte impraticabile. Nelle località più soggette ad impaludamenti od a smottamenti di terra si vedono di tratto in tratto alcune zone selciate, ma Dio mio quale selciato! un getto informe di più inforni ciottolosi di due a dieci decimetri cubici, che uomini e muli rifiutano di battere (...).

Ora queste sono le strade di cui serve un terzo e più della popolazione dell'isola, e dico più, dacchè nel quadro secondo figurano, come dotate di strade rotabili, tutte le popolazioni di quei comuni di cui centri principali d'abitazioni cadono infatti lungo le strade stesse; ma non è a tacersi che molte frazioni di detti comuni trovansi da esse assai lontane, mentre poi ben poche frazioni degli stessi comuni, che in detto quadro figurano come privi di strade, si trovano con esse in prossime comunicazioni." (Possenti, 1865)

Sebbene oggi la maggior parte delle strade interne sia asfaltata, le condizioni della viabilità possono ritenersi mediocri quando non pessime. Ciò comporta serie problematiche non solo sul piano della sicurezza per le frane che affliggono i versanti (causate sovente da mancata manutenzione dei tombini di attraversamento delle incisioni torrentizie e da insufficiente o nessuna protezione delle scarpate), ma anche per gli aspetti più pertinenti la protezione civile in quanto occorre considerare la possibilità, più volte divenuta reale problema, dell'impossibile raggiungimento dei nuclei abitati.

Ne derivano diverse necessità: quella della onerosa manutenzione delle opere stradali (ordinaria, ma sempre più spesso straordinaria quando i dissesti, dopo essersi manifestati con qualche lieve segnale ed essere stati ignorati, degenerano comportando interventi

radicali) e quella di assicurare un monitoraggio mediante i presidi territoriali che diventa, alle volte, mera misura di restrizione al transito se non seguito da soluzioni tempestive.

Alle precedenti osservazioni di carattere generale seguono quelle più specifiche riguardanti la capacità di identificazione dei dissesti e della comprensione del loro stadio evolutivo basata, nella stragrande maggioranza dei casi, solo su osservazioni speditive e superficiali.

Ecco quindi che emerge la necessità di figure professionali qualificate come i geologi che, è bene precisarlo, devono avere preparazione mirata: a questo riguardo, è inevitabile chiedersi se e in che misura i tecnici degli uffici pubblici, in ogni caso troppo pochi, siano sufficientemente pronti a svolgere attività di prevenzione atteso che: a) non sono obbligati a seguire corsi di aggiornamento, b) è usuale che svolgano perlopiù attività tecnico-amministrative.

Infine, vi è un altro nodo che rende l'approccio allo studio delle frane difficoltoso se non scoraggiante: l'incertezza o assenza di dati di pioggia a causa della scarsa densità di stazioni meteo-climatiche in rapporto alle caratteristiche orografiche e micro-climatiche del territorio siciliano e la pressoché totale impossibilità di acquisire i dati esistenti per via di incomprensibili vincoli burocratici.

BIBLIOGRAFIA

- POSSENTI C. (1865). *Relazione al signor Ministro dei Lavori Pubblici di visita delle opere di ponti e strade e di porti, spiagge e fari nelle provincie siciliane*. Tipografia Internazionale, Milano.
- TRAMONTANA S. (1963). *Michele Da Piazza e il potere baronale in Sicilia*. Ed. G. D'Anna.
- UNIVERSITÀ DI CATANIA (2000). *Carta Geologica della Provincia di Messina*. Selca, Firenze.
- USGS (2008). *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*. Circular 1325. By Lynn M. Highland, United States Geological Survey, Andpeter Bobrowsky, Geological Survey of Canada.

Modello sperimentale di allerta e relative procedure operative per le aree della provincia di Messina vulnerate dall'evento del 1° ottobre 2009

GIUSEPPE BASILE

MARINELLA PANEBIANCO

Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana

ANALISI DELL'EVENTO DEL 1° OTTOBRE 2009

Il 1° ottobre 2009, lungo la costa nord-orientale della provincia di Messina, in una ristretta area di circa 25 kmq si è verificato un evento pluviometrico di eccezionale intensità che ha provocato, come è ben noto, gravissimi danni nel territorio: oltre 500 soil-slips alcuni dei quali evoluti in debris e mud flows che hanno provocato la distruzione di numerosi edifici in alcuni abitati e la perdita di 37 vite umane (Ardizzone *et alii*, 2009; Basile, 2009).

Nella stazione pluviometrica di Santo Stefano di Briga, ubicata poco più a nord dell'area vulnerata, vennero registrati 225 mm di pioggia in 5 ore; come mostrato nel grafico seguente (Fig. 1), l'intensità fu praticamente costante per l'intera durata dell'evento (intorno ai 39 mm/h), con scrosci di significativa intensità in rapida successione (circa 41 mm/h nelle prime 2 ore, circa 45 mm/h dalla terza alla quinta ora di pioggia).

Occorre rilevare che nei dintorni di Santo Stefano di Briga, territorio con tratti morfologici e litologici molto simili a quelli delle aree vulnerate, non vi furono effetti al suolo rilevanti. Se ne desume che nell'area vulnerata le precipitazioni potrebbero essere state maggiori in quantità cumulate e/o in intensità.

Per comprendere in che misura le piogge del 1° ottobre siano state eccezionali rispetto al passato, sarebbe necessario confrontare i dati dell'evento con quelli registrati negli anni precedenti.

Tuttavia, la stazione di Santo Stefano di Briga non possiede serie storiche delle intensità di pioggia, ma soltanto le quantità giornaliere delle quali sono stati calcolati i valori cumulati progressivi da 1 a 20 giorni consecutivi (Fig. 2 - gli anni con asterisco sono quelli di cui si notizia di rilevanti effetti al suolo con danni).

Dalle prime ricostruzioni storiche delle piogge giornaliere e dei relativi effetti al suolo (periodo 1924-2009) risulta che:

- situazioni molto critiche si sono verificate quasi sempre per eventi con $P > 100$ mm/g;
- situazioni critiche si sono verificate occasionalmente per eventi con $P > 70$ mm/g;

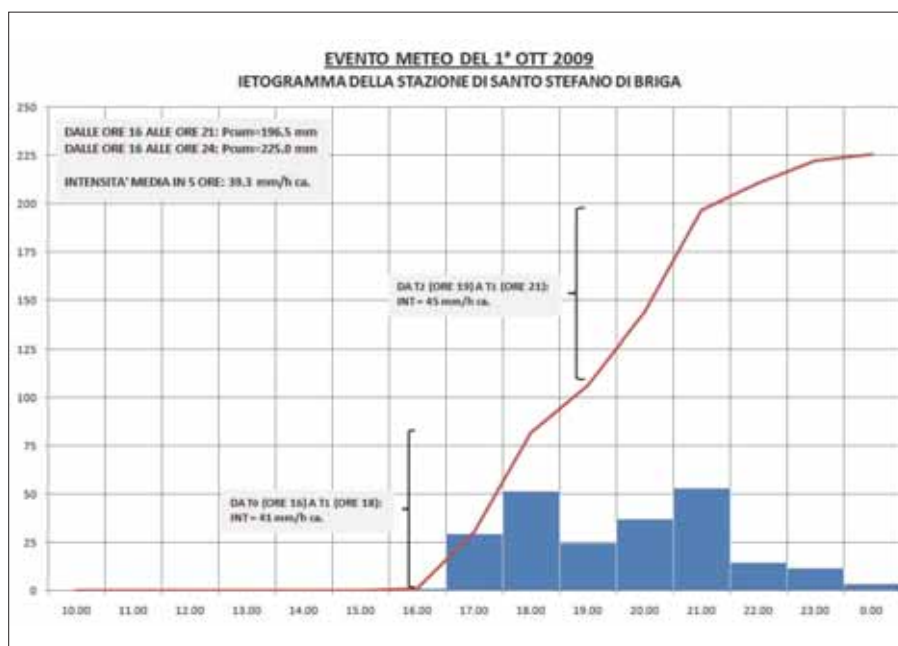


Figura 1 - Istogramma dell'evento del 1° ottobre 2009 (stazione di Santo Stefano di Briga).

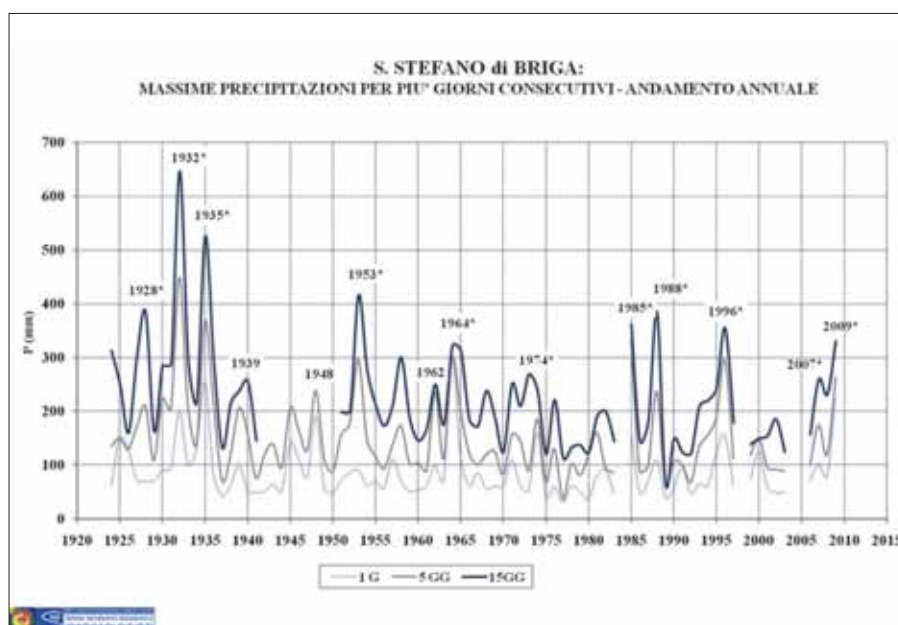


Figura 2 - Andamento annuale delle massime precipitazioni per più giorni consecutivi nella stazione pluviometrica di Santo Stefano di Briga.

- frammentarie sono le notizie di effetti al suolo connessi a eventi impulsivi con intensità giornaliere molto elevate (> 100 mm/g) non preceduti da sequenze significative di giorni di pioggia consecutivi nei 5 giorni precedenti.

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO DEL DIPARTIMENTO REGIONALE DELLA PROTEZIONE CIVILE

Nell'area vulnerata dall'evento sono state installate n. 6 stazioni termo-pluviometriche (cfr. Fig. 3) con le seguenti caratteristiche:

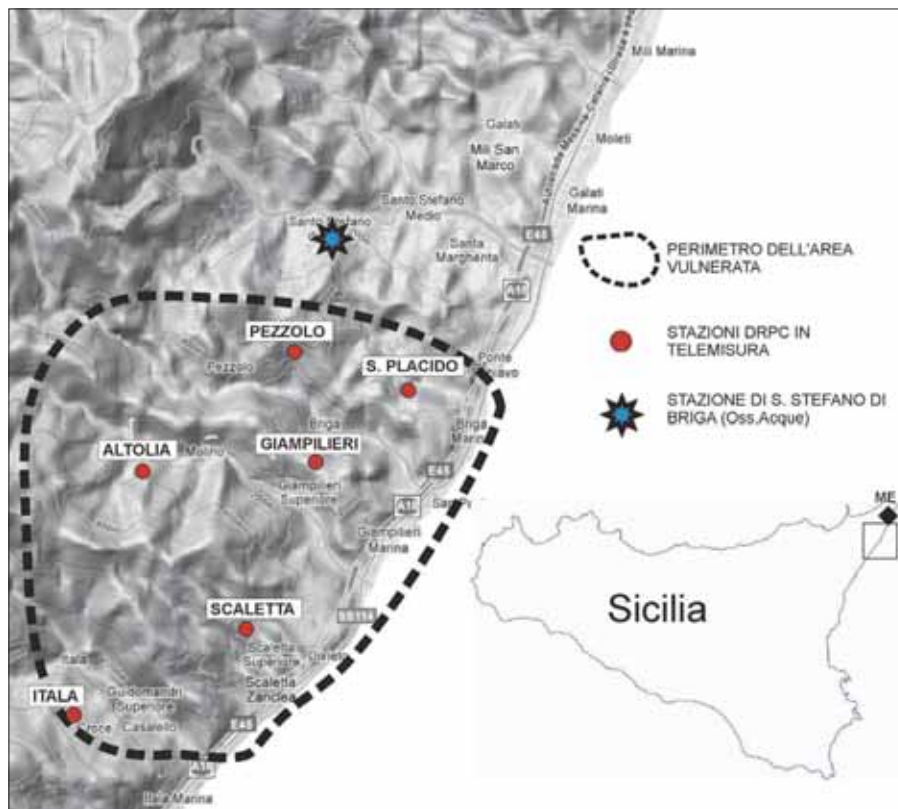


Figura 3 – Ubicazione delle stazioni DRPC in telemisura nell'area vulnerata.

- Sensori di pioggia (a bascula) e sensori termo-igrometrici
- Sistema di trasmissione: radio e GPRS
- Frequenza di acquisizione/trasmisione: 1 minuto/5 minuti
- Centrale primaria: presso il Servizio del DRPC di Messina
- Centrali secondarie nei Comuni di Messina, Scaletta Zanclea e Itala, Provincia Regionale di Messina e presso il Dipartimento Regionale della Protezione Civile (SORIS).

Il sistema fornito (CAE S.p.A.) è dotato di un software che permette l'osservazione in tempo reale dei parametri ambientali (pioggia, temperatura, umidità dell'aria) e l'impostazione di soglie di allerta basate sulle piogge cumulate (su un periodo di ore stabilito dall'utente) e sulle piogge intense (calcolate per incrementi di 10 minuti).

CRITERI PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE SOGLIE CRITICHE

In assenza di studi specifici che tengano conto, nella determinazione afflussi-deflussi-effetti al suolo, del contributo di variabili quali tipo di suolo, temperatura dell'aria, suzione ecc, in questa fase è possibile impostare un macro-modello basato soltanto sulle precipitazioni precedenti il fenomeno (soglie di 2° ordine, cfr. DPC-ARPA Piemonte, 2004); al riguardo, gli unici dati storici ai quali fare riferimento sono quelli giornalieri della stazione pluviometrica di Santo Stefano di Briga (Oss. Acque - DAR), situata poco più a nord dell'area vulnerata.

espressione (h =altezza di pioggia; t =n.ro di giorni):

[1] LIVELLO 3: $h = 69,91 \cdot t^{0,307}$: CRITICITA' ELEVATA (curva di inviluppo dei valori pari alla media della serie storica)

I livelli più bassi sono stati ottenuti scalandolo il coefficiente di 't':

[2] LIVELLO 1: $h = 23,30 \cdot t^{0,307}$: CRITICITA' ORDINARIA (curva di inviluppo dei valori pari a 1/3 della media della serie storica)

[3] LIVELLO 2: $h = 46,61 \cdot t^{0,307}$: CRITICITA' MODERATA (curva di inviluppo dei valori pari a 2/3 della media della serie storica)

Pertanto, al variare del tempo 't', si hanno le soglie e i relativi livelli di allerta di cui alla Tab. 1.

Da 't' dipende la capacità di predisporre per tempo le attività di mitigazione del rischio idrogeologico; al riguardo, è opportuno considerare quanto segue:

Tabella 1 – Valori di pioggia cumulata critica (mm) al variare del numero di giorni piovosi

SOGLIE DI PIOGGIA E LIVELLI DI ALLERTA PER: PIOGGE CUMULATE (CONDIZIONI PREDISPONENTI)							
t (gg)	C_LIVO	sog_1	C_LIV1	sog_2	C_LIV2	sog_3	C_LIV3
5	$P \leq 38$	38	$38 < P \leq 76$	76	$76 < P \leq 115$	115	$P > 115$
10	$P \leq 47$	47	$47 < P \leq 95$	95	$95 < P \leq 142$	142	$P > 142$
15	$P \leq 54$	54	$54 < P \leq 107$	107	$107 < P \leq 161$	161	$P > 161$
20	$P \leq 58$	58	$58 < P \leq 117$	117	$117 < P \leq 176$	176	$P > 176$
		1		2		3	
formule di riferimento	$h = 23,30 \cdot t^{0,307}$		$h = 46,61 \cdot t^{0,307}$		$h = 69,91 \cdot t^{0,307}$		

La previsione della criticità può essere il risultato di una combinazione tra condizioni predisponenti (le piogge cumulate dei giorni precedenti) e condizioni innescanti (le previsioni di pioggia per il giorno successivo e/o il monitoraggio in tempo reale delle precipitazioni).

Tale modello concettuale, riscontrabile diffusamente nella letteratura scientifica (AA.VV., 2005; Aleotti, 2004; Cannon *et alii*, 2008; Cevasco *et alii*, 2010; Rappelli, 2007), nel caso specifico è stato adattato alla necessità di stabilire soglie per l'allertamento progressivo del sistema di protezione civile coniugandolo con le caratteristiche del software in dotazione.

Dalla serie storica, sono stati filtrati gli eventi con $P \geq 50$ mm/g e le relative piogge cumulate da 1 a 20 giorni e si è assunto che la media dei valori ricavati costituisca la soglia di massima criticità per condizioni predisponenti; la curva di regressione ha la seguente

- a) sebbene valori elevati di 't' (> 20 giorni) garantirebbero una sorveglianza continua, è anche vero che non è prudente sollecitare il sistema di protezione civile più di quanto sia necessario per non innescare comportamenti di assuefazione all'allertamento, con risultati poco utili dal punto di vista della prevenzione; ciò comporta la necessità che le soglie non siano troppo cautelative;
- b) è ragionevole che si debba tenere conto della nota rapidità con cui variano le condizioni meteorologiche dell'area dello Stretto di Messina; ciò comporta che le soglie di pioggia intensa dovranno essere impostate su valori ragionevolmente bassi e comunque tali da poter valutare per tempo le variazioni in corso dell'andamento pluviometrico;
- c) i tempi tecnici affinché il sistema di protezione civile possa avviare le proprie procedure concorrono in maniera signifi-

cativa per la buona riuscita delle azioni finalizzate alla prevenzione; pertanto, le soglie devono tenere conto dell'inerzia dell'attivazione ed essere messe in relazione con attività progressivamente più impegnative.

Dalle precedenti osservazioni, se ne deduce che le soglie non possono rappresentare soltanto il limite tra uno stato di quiete e un presunto stato di criticità poiché occorre tenere presente l'indeterminatezza del sistema fisico e le variabili connesse ai fattori organizzativi del sistema di protezione civile.

In merito alle cause innescanti, possiamo senz'altro riferirci alle piogge intense i cui parametri sono la quantità unitaria di precipitazione e la durata; sulla scorta dei pochi dati disponibili, sono state assegnate le seguenti soglie (Tab. 2).

ANALISI A POSTERIORI: L'EVENTO DEL 1° OTTOBRE 2009

Sulla scorta del modello proposto, è stato analizzato l'evento del 1° ottobre supponendo che vi fossero state stazioni in grado di monitorare in tempo reale le precipitazioni.

Per determinare l'ottimale valore di t nelle equazioni [1], [2] e [3], vengono prese in considerazione tre ipotesi di lavoro:

- 1) soglie delle piogge cumulate impostate a 5 giorni
- 2) soglie delle piogge cumulate impostate a 10 giorni
- 3) soglie delle piogge cumulate impostate a 15 giorni

Nelle ipotesi 1 e 2, i livelli di allerta che il modello avrebbe restituito non avrebbero consentito un'ideale e tempestiva attivazione del sistema di protezione civile (Fig. 5 e

Nel caso di soglie impostate a 15 giorni, le piogge cumulate "ricordano" gli eventi precedenti e, di conseguenza, già dal 24 settembre il livello di allerta sarebbe stato in **C_LIV2** e quindi, anche in assenza di precipitazioni successive o comunque di precipitazioni intense, il sistema di protezione civile sarebbe rimasto in stato di **ATTENZIONE**, condizione che avrebbe permesso l'attivazione dei presidi territoriali (Fig. 7).

Non è certo se i tecnici inviati per le operazioni di routine avrebbero potuto osservare qualche segno premonitore e nessuno, a questo punto, può dirlo, però il sistema di protezione civile sarebbe stato già attivo e ciò, probabilmente, avrebbe consentito di percepire la gravità dell'evento e di avvertire la popolazione.

CONCLUSIONI

Il modello sperimentale di allerta proposto è basato sul controllo delle piogge registrate dalle stazioni in telemisura installate nelle aree vulnerate dall'evento del 1° ottobre 2009.

Il software in dotazione del sistema di monitoraggio pluviometrico in tempo reale consente l'impostazione di soglie relative alle piogge cumulate e alle piogge intense.

In attesa di procedure più sofisticate che tengano conto di altri parametri che potrebbero condizionare lo sviluppo delle colate rapide di detrito (per esempio, la temperatura dell'aria e la conseguente variazione del contenuto d'acqua nel terreno), al momento non vi sono altri strumenti di analisi previsionale se non quelli legati alla piovosità osservata in tempo reale.

Solo recentemente, è stato installato un micro radar meteorologico in banda X, ancora in corso di taratura, che potrebbe aiutare nel controllo in tempo reale delle piogge distribuite.

Il modello, ottenuto confrontando le serie storiche di pioggia disponibili dell'unica stazione più vicina di riferimento, quella di Santo Stefano di Briga (Osservatorio delle Acque), con le informazioni sui danni reperite da ricerche d'archivio, tiene anche conto, nella determinazione delle soglie e dei correlati livelli di allerta, dei tempi tecnici per l'attivazione delle procedure di protezione civile (controllo, verifica, comunicazioni con gli Enti Locali, attivazione dei Presidi Operati e dei Presidi Territoriali, attivazione delle altre componenti del sistema) ritenute necessarie per avviare le azioni di prevenzione del rischio.

Sebbene le analisi a posteriori per alcuni eventi piovosi del 2010 abbiano dato riscontri positivi delle soglie determinate e delle relative procedure, l'incertezza del modello, legata alla grande dispersione delle correlazioni piogge-frane, è elevata e quindi è plausibile

Tabella 2 – Valori di pioggia intensa critica (mm/h)

SOGLIE DI PIOGGIA E LIVELLI DI ALLERTA PER: PIOGGE INTENSE (CONDIZIONI INNESCANTI)							
h	I_LIVO	sog1_1	I_LIV1	sog1_2	I_LIV2	sog1_3	I_LIV3
1	≤ 10	10	10 < I ≤ 25	25	25 < I ≤ 40	40	I > 40
attivazioni per durate superiori alla mezz'ora							

Sulla base di quanto sopra, è possibile tracciare uno schema di procedure che possano costituire un riferimento nelle pianificazioni di emergenza degli Enti Locali, da condividere con i Dipartimenti Nazionale e Regionale di Protezione Civile.

Fig. 6).

Infatti, fino a un istante prima dell'evento del 1° ottobre ci si sarebbe trovati in condizioni di **C_LIVO** (nell'ipotesi 1) o di **C_LIV1** (nell'ipotesi 2), dal che si deduce che, anche supponendo la tempestiva attivazione dei

Pcum	Pint>1h	ALLERTA	azioni di prevenzione
C_LIVO	I_LIVO	QUIETE	nessuna
C_LIVO	I_LIV1	PREALLERTA	intensificazione monitoraggio remoto
C_LIVO	I_LIV2	ATTENZIONE	c.s. + preallerta presidi territoriali
C_LIVO	I_LIV3	ATTENZIONE	attivazione del presidio operativo
C_LIV1	I_LIVO	PREALLERTA	intensificazione monitoraggio remoto
C_LIV1	I_LIV1	ATTENZIONE	attivazione del presidio operativo
C_LIV1	I_LIV2	ATTENZIONE	c.s. + invio presidi territoriali (ricognizioni)
C_LIV1	I_LIV3	ATTENZIONE	c.s. + preallerta per cancelli
C_LIV2	I_LIVO	ATTENZIONE	intensificazione monitoraggio remoto
C_LIV2	I_LIV1	PREALLARME	invio o rafforzamento dei presidi territoriali
C_LIV2	I_LIV2	PREALLARME	attivazione cancelli, preallerta popolazione
C_LIV2	I_LIV3	PREALLARME	interruzione transito punti critici
C_LIV3	I_LIVO	PREALLARME	intensificazione monitoraggio remoto + presidi territ.
C_LIV3	I_LIV1	PREALLARME	eventuale apertura C.O.C.
C_LIV3	I_LIV2	ALLARME	interruzione transito punti critici
C_LIV3	I_LIV3	ALLARME	invio mezzi per assistenza popolazione esposta

Figura 4 – Procedure operative connesse al sistema di monitoraggio pluviometrico del DRPC nelle aree vulnerate dall'evento del 1° Ottobre 2009 in provincia di Messina.

È evidente che le azioni di prevenzione indicate (Fig. 4) debbano essere considerate indicative, potendo essere meglio articolate nell'ambito della pianificazione di protezione civile in funzione delle esigenze e dell'organizzazione locali.

presidi territoriali e l'altrettanto immediata loro operatività, non vi sarebbe stato il tempo sufficiente per rendersi conto della situazione e per organizzare tutte le attività necessarie per un'efficace azione di prevenzione e messa in sicurezza.

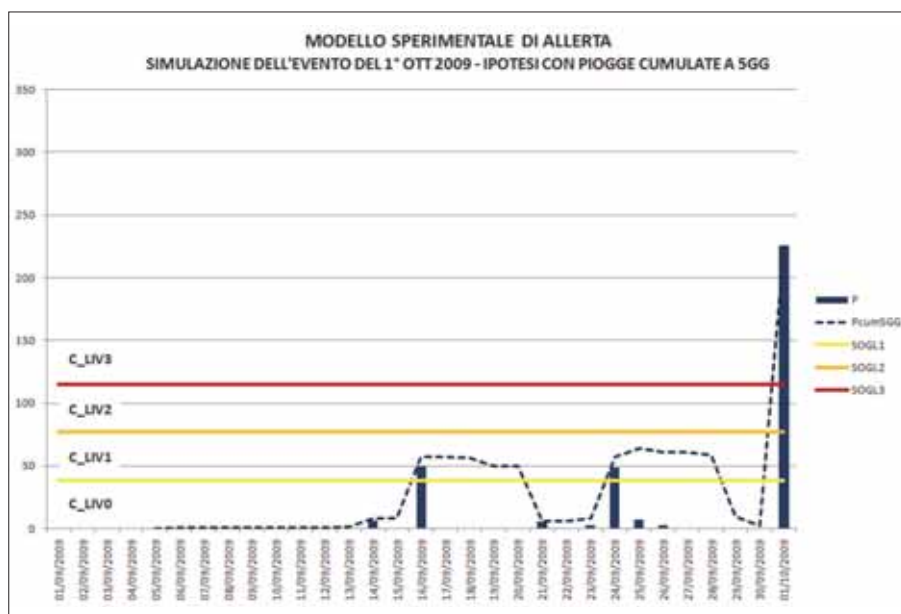


Figura 5 – Diagramma delle piogge e delle soglie (ipotesi 1).

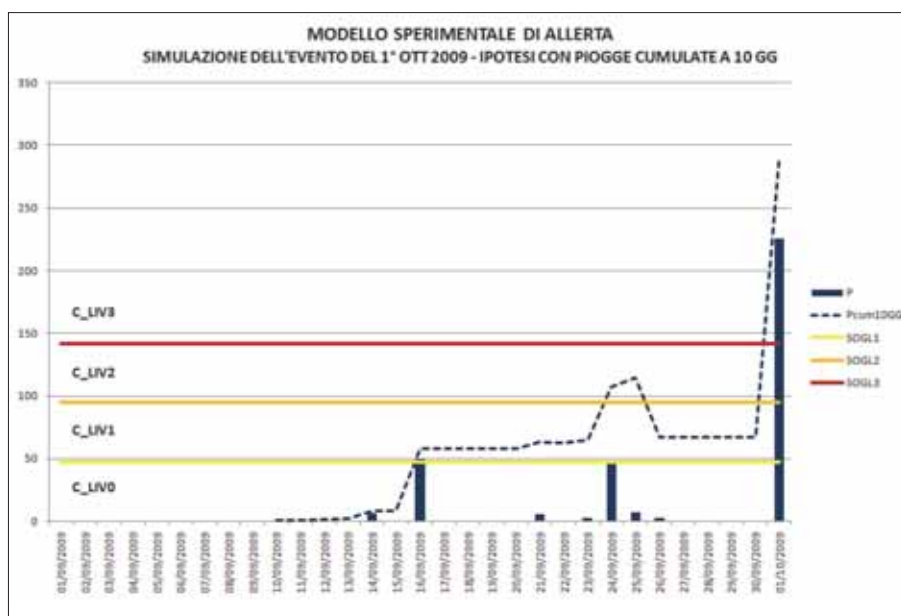


Figura 6 – Diagramma delle piogge e delle soglie (ipotesi 2).

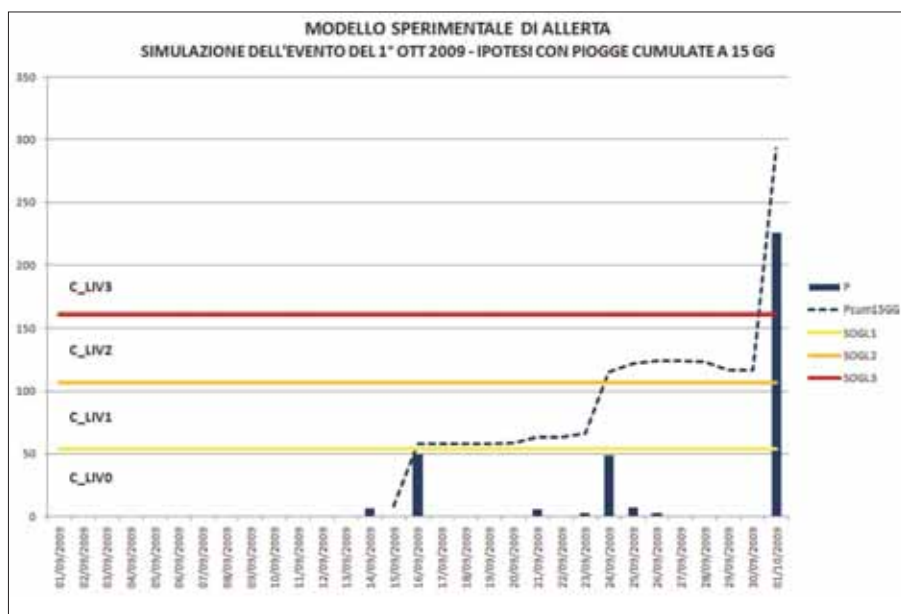


Figura 7 – Diagramma delle piogge e delle soglie (ipotesi 3).

ritenere che durante il necessario periodo di taratura potrebbero verificarsi “falsi allarmi” o “mancati allarmi”.

Tuttavia, si ritiene che, in forma sperimentale, il modello debba essere implementato al fine di consentire le sue eventuali correzioni predisponendo, nel contempo, la correlata pianificazione di emergenza.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2005). *Dalla valutazione alla previsione dei rischi naturali*. ARPA Piemonte.

ALEOTTI P. (2004). *A Warning System for Rainfall-Induced Shallow Failures*. Engineering Geology 73 (2004) 247-265.

ARDIZZONE F., BASILE G., CARDINALI M., DEL CONTE S., FIORUCCI F., IOVINE G., MONDINI A., MORETTI S., PANEBIANCO M., RASPINI F., REICHENBACH P., ROSSI M., TERRANOVA O., CASAGLI N., GUZZETTI F. (2009). *Mapping Rainfall-Induced Landslides and Inundated Areas Using Remote Sensing Technology And Field Surveys: the 1 October 2009, Messina, Sicily, Event*. European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 19-24 April 2009.

BASILE (2009). *Rapporto sugli eventi meteo che hanno colpito la provincia di Messina il 1° ottobre 2009*. Documento interno: www.protezionecivilesicilia.it.

CANNON S.H., GARTNER J.E., WILSON R.C., BOWERS J.C., LABER J.L. (2008). *Storm Rainfall Conditions for Floods and Debris Flows From Recently Areas in Southwestern Colorado and Southern California*. Geomorphology 96 (2008) 250-269.

CEVASCO A., SACCHINI A., ROBBIANO A., VINCENZI E. (2010). *Individuazione delle soglie pluviometriche di innesco di frane superficiali sul territorio comunale di Genova: il caso della Val Bisagno*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1 (2010).

DPC-ARPA PIEMONTE (2004). *Convenzione tra il Dipartimento per la Protezione Civile e l'ARPA Piemonte per l'assistenza alla gestione delle situazioni di rischio idro-meteorologico sul territorio nazionale. Soglie pluviometriche*. Versione luglio 2004.

RAPPPELLI F. (2007). *Verifica di possibili criteri di individuazione di soglie pluviometriche per situazioni di emergenza idrogeologiche. Rapporto finale*. Istituto Regionale Di Ricerca Della Lombardia, Milano.

Ingegneria naturalistica per la difesa del suolo e la protezione ambientale

FEDERICO BOCCALARO
Ingegnere ambientale,
direttivo SIGEA ed esperto AIPIN
e-mail: naides@fastwebnet.it

GENERALITÀ

Tra le discipline tecniche che intervengono nella soluzione dei problemi creati dal dissesto idrogeologico, si è inserita ormai da diversi anni l'Ingegneria Naturalistica, che trova ampio spazio di trattazione nel presente articolo.

L'Ingegneria Naturalistica (I.N., ted. *Ingenieurbiologie*, ingl. *Biological Engineering*, franc. *Génie Biologique*) è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive negli interventi antiersivi e di consolidamento, in genere in abbinamento con altri materiali (legno, terra, roccia, geotessili, reti zincate, ecc.), per la ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale ed all'aumento della biodiversità. I campi di intervento vanno da quelli tradizionali di consolidamento dei versanti e delle frane al recupero delle aree degradate (cave, discariche, cantieri), alla mitigazione degli impatti legati alla realizzazione di opere di ingegneria (barriere antirumore e visive, filtri alla diffusione di polveri, ecosistemi-filtro a valle di scarichi idrici), all'inserimento ambientale delle infrastrutture di trasporto lineari (scarpate stradali e ferroviarie), alla rinaturazione dei corsi d'acqua, al ripristino di ambienti costieri, ecc.

Le finalità degli interventi di I.N. sono principalmente:

- tecnico-funzionali, ad esempio antiersive e di consolidamento di una scarpata o di una sponda;
- naturalistiche, in quanto lo scopo non è la semplice copertura a verde ma la ricostituzione o l'innescio di comunità vegetali appartenenti alla serie dinamica autotona;
- estetiche e paesaggistiche di inserimento nel paesaggio naturale;
- economiche, in quanto tipologie alternative e competitive alle opere tradizionali (ad esempio muri di sottoscarpa in cemento sostituiti da palificate vive).

Gli interventi di I.N. si contraddistinguono da quelli tradizionali per:

- l'esame delle caratteristiche microclimatiche, geomorfologiche e pedologiche delle aree di intervento;
- l'analisi floristica e vegetazionale, con particolare riferimento alla ricostruzione della serie dinamica e all'individuazione

delle specie d'impiego in funzione delle loro caratteristiche biotecniche;

- l'uso di materiali non tradizionali quali i geotessili sintetici in abbinamento a piante o parti di esse;
- l'accurata selezione delle specie vegetali da impiegare (miscele di sementi, specie arboree ed arbustive, talee, rizomi, trapianti di zolle);
- l'abbinamento della funzione di consolidamento con quella del reinserimento ambientale;
- il miglioramento nel tempo delle suddette funzioni per lo sviluppo delle parti aeree e sotterranee delle piante.

Opere di Ingegneria Naturalistica vengono realizzate da oltre trent'anni nei paesi di lingua tedesca, mentre in Italia le esperienze principali sono state fatte nel Centro-Nord.

Anche sul piano legislativo tali tecniche vengono ormai espressamente richieste come nella legge speciale 102/90 per la Valtellina o in diverse norme regionali per gli interventi di difesa del suolo. L'interesse per tali tecniche è anche manifestato dai manuali tecnici usciti negli ultimi anni quali quelli predisposti dalle Regioni Emilia Romagna, Veneto, Lazio, Toscana, Liguria, Lombardia, Marche e Campania, dalle Province di Bolzano, Trento e Terni e dal Ministero dell'Ambiente.



Figura 1 – Grata viva a Cadibona (SV) (da F.Boccalaro, 1994).

Lo studio di un intervento di Ingegneria Naturalistica comporta le seguenti fasi:

- indagini bibliografiche;
- indagine geologica e geomorfologica;
- indagini pedologica;
- indagine floristica e vegetazionale per l'individuazione delle specie e delle tipologie vegetazionali d'intervento;
- definizione dei criteri progettuali;
- definizione delle tipologie di Ingegneria Naturalistica;
- elenco delle specie floristiche da impiegare.

2. METODOLOGIA

I fattori che condizionano la scelta dell'intervento sistematorio più idoneo sono elencati di seguito.

- Scopo della sistemazione: innanzitutto il consolidamento delle aree in erosione, seguito da un aumento delle specie vegetali, un costo di manutenzione più contenuto possibile e la creazione di superfici utili.
- Effetto tecnico: i versanti minacciati da erosione vengono protetti mediante interventi di copertura, i versanti minacciati

da franamenti possono essere consolidati e resi stabili con interventi stabilizzanti o di sostegno.

- Ecologia delle stazioni: i fattori stazionali influenzano la scelta delle piante che, dal canto loro, contribuiscono a determinare il metodo costruttivo.
- Disponibilità di appropriati materiali da costruzione: occorre stabilire a priori se le piante adatte alle caratteristiche stazionali sono disponibili nelle vicinanze del cantiere o devono essere portate sul posto.
- Stagione: i metodi costruttivi che abbisognano di materiale con capacità di propagazione vegetativa sono legati al riposo vegetativo (tardo autunno, inverno).
- Gli interventi di ricostituzione della copertura vegetale verranno eseguiti mediante "opere di rivestimento" (pendio stabile: $\eta > 1,1$), le opere di consolidamento e regimazione delle acque verranno eseguite mediante "opere stabilizzanti" (pendio labile: $0,9 < \eta < 1,1$) e/o "opere combinate" (pendio instabile: $\eta < 0,9$).

Come in tutte le discipline, anche nell'Ingegneria Naturalistica si stanno affermando alcune regole comportamentali di riferimento per i professionisti, i funzionari e gli imprenditori che si occupano degli interventi di I.N.

Vale il principio di adottare nelle scelte di progetto le tecniche a minor livello di energia (complessità, tecnicismo, artificialità, rigidità, costo) a pari risultato funzionale/biologico come rappresentato per maggior chiarezza in figura.

Per quanto riguarda la selezione delle specie e dei materiali da impiegare nelle tecniche di I.N., il concetto generale di impiegare il più possibile materiali naturali e specie autoctone va ulteriormente dettagliato, data la complessità e molteplicità delle situazioni in cui vengono spesso a trovarsi i professionisti settore (vedi figura).

L'AIPIN ha recentemente fatto un tentativo di schematizzare la graduatoria di

Tabella 1 – Preferibilità/liceità d'impiego dei materiali vivi e morti per le tecniche di Ingegneria Naturalistica (da G. Sauli e P. Cornelini, 2006)

PREFERIBILITÀ/ LICEITÀ* D'IMPIEGO DEI MATERIALI VIVI E MORTI PER LE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA								
AMBITI D'IMPIEGO		PIANTE			MATERIALI UTILIZZATI			
		PIANTE AUTOCTONE	PIANTE ESOTICHE NATURALIZZATE	PIANTE ESOTICHE DI RECENTE INTRODUZIONE	MATERIALI NATURALI	MATERIALI BIODEGRADABILI	MATERIALI ARTIFICIALI	
NATURALITÀ CRESCENTE	1	AREE PROTETTE	XXX	-	-	XX	XX	-(1)
	2	AREE NATURALI	XXX	-	-	XX	XX	X
	3	AREE AGRICOLE	XX	X	-	XX	XX	X
	4	PARCHI E GIARDINI	XX	X	X	X	X	X
	5	AREE URBANE	XX	X	X	X	X	X
	6	AREE INDUSTRIALI	XX	X	X	X	X	X

* XXX Impiego esclusivo
 XX Impiego preferenziale
 X Impiego in funzione delle scelte progettuali
 - Incompatibilità assoluta
 (1) Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di edifici o infrastrutture esistenti

N.B.: nelle categorie "materiali: naturali, biodegradabili, artificiali" si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti (es. chiodo in ferro acciaio nella palificata viva in legno)

Tabella 2 – Selezione delle specie e dei materiali (da G. Sauli e P. Cornelini, 2006)

Solo piante vive	Piante vive+materiali			Solo materiali artificiali
Piante vive con funzione tecnica primaria	Piante vive con funzione tecnica primaria + materiali biodegradabili (legno, biostuoie) dominanti	Piante vive con funzione tecnica secondaria + materiali non biodegradabili dominanti: naturali (pietra, terra) e artificiali (plastica)	Piante vive prive di funzione tecnica, ma per realizzazione unità ecosistemiche + materiali artificiali dominanti	
Es: Gradonata viva	Es: Palificata viva	Es: Gabbionate rinverdite, scogliere rinverdite, terre rinforzate rinverdite, geosintetici rinverditi	Es: Cribb wall verdi, mantellate cemento inerbite	Es: Muro c.a., rete zincata
Solo azioni morfologiche	Solo materiali			
Per rinaturalizzazione + aumento biodiversità	Materiali naturali per favorire la colonizzazione spontanea delle dune	Materiali naturali per la realizzazione unità morfologiche	Materiali naturali o artificiali per il mantenimento biodiversità faunistica	
	Es: Incannucciamento	Es: Canalette legno e pietra, briglie legname e pietrame, dighe in terra per conservazione habitat di pregio	Es: Tubi per anfibi, sovrappassi per ungulati, rampe risalita per i pesci	



preferibilità e liceità di impiego di specie e materiali nei vari possibili ambiti territoriali di impiego.

Va da sé che nelle aree protette devono essere impiegate solo specie autoctone e materiali naturali o biodegradabili, escludendo il *Vetiveria zizanioides* (Vetiver, pianta erbacea perenne originaria dell'India settentrionale). Si ammette l'uso di materiali artificiali solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di infra-

Figura 2 – Livello minimo di energia per interventi di Ingegneria Naturalistica (da G. Sauli e P. Cornelini, 2006).

Tabella 3 – Opere di rivestimento (da Schiechl e Stern, 1992)

METODI	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Semina di specie arboree e arbustive oltre a specie erbacee	per creare soprassuoli legnosi e completare altre sistemazioni biotecniche	<ul style="list-style-type: none"> • conveniente • conforme alla natura • utilizzazione su aree dove non si possono eseguire piangigliati 	sviluppo lento
Semina su reti di protezione contro l'erosione	scarpate ripide, scarpate su sabbia, scarpate su sponde	immediata protezione contro l'erosione	dispendioso
Posa in opera di materassi seminati	fossi rivestiti con zolle, scarpate pianeggianti e regolari	protezione immediata	<ul style="list-style-type: none"> • richiede uno spianamento accurato • è utile disporre di terreno coltivabile
Posa in opera di materassi grigliati	creazione di parcheggi, accessi, aree di stazionamento, consolidamento di scarpate basse	<ul style="list-style-type: none"> • sopporta subito carichi • il rivestimento è possibile durante l'utilizzazione 	<ul style="list-style-type: none"> • richiede molto lavoro • limitata altezza della costruzione
Copertura vegetale diffusa	consolidamento di scarpate minacciate da erosione, dovuta all'acqua corrente o al vento	<ul style="list-style-type: none"> • immediatamente efficace • copertura arbustiva densa in poco tempo 	<ul style="list-style-type: none"> • impiego di molto materiale • limitata altezza della costruzione
Zolle erbose	consolidamento di luoghi minacciati da erosione	<ul style="list-style-type: none"> • vegetazione in equilibrio con la stazione • effetto immediato • posa in opera semplice e rapida • effetto immediato 	provvista di zolle erbose difficile
Manto erboso pronto	<ul style="list-style-type: none"> • scarpate spondali • fossi rivestiti con zolle • scarpate pianeggianti • aree da modellare 		necessità di terreno vegetale
Semine manuali:			
semina con forame	in località ad alta quota, dove la natura è protetta, in combinazione con altri metodi di semina	miscugli di manto erboso in equilibrio con la stazione, ricchi di specie	<ul style="list-style-type: none"> • provvista del forame è difficile • il terreno coltivabile ne è la premessa
semina con miscuglio standard	su terreno coltivato come manto erboso permanente o intermedio	semina rapida, semplice, è la più conveniente	il terreno vegetale un anno, ricco di sostanze nutritive, ne è la premessa
Semine meccanizzate:			
Atto semina tipo "vero-verde"	rinverdimento meccanizzato di scarpate ripide con terreno grezzo	adatto per quote elevate	procedimento complicato e costoso
Atto semina tipo "bianco-verde"	rinverdimento meccanizzato di scarpate ripide con terreno grezzo	<ul style="list-style-type: none"> • procedimento rapido e semplice • possibile impiego di macchinari • riporto di tutti i componenti in un unico processo di lavorazione 	<ul style="list-style-type: none"> • il cantiere deve essere percorribile con veicoli • limitato raggio d'azione delle macchine • su stazioni aride (pendii soleggiati), lento della crescita incerto
Atto semina a spessore o con malchi	consolidamento su vaste aree di scarpate in trincea o di scarpate arginate con terreno minerale sterile	<ul style="list-style-type: none"> • il miglior effetto ecologico • germinazione rapida e sicura (effetto serra) e sviluppo • formazione di uno strato di humus • protezione meccanica della superficie del terreno 	<ul style="list-style-type: none"> • più cicli di lavoro • nei cantieri d'alta quota gli strati di copertura marcano lentamente

Tabella 4 – Criteri di rivestimento di scarpate (da Sauli, 1996)

TIPO SUPERFICIE	ROCCIA	ROCCIA E TERRA	TERRA
Pendenza:			
molto bassa 0° - 15°	riporto di terreno + idrosemina	biostuoia + idrosemina	idrosemina
bassa 15° - 30°	riporto di terreno + idrosemina + biostuoia	georete + idrosemina	idrosemina + biostuoia
media 30° - 45°	riporto di terreno + georete + idrosemina	georete + terreno + idrosemina + biostuoia	georete + idrosemina + biostuoia
alta 45° - 65°	georete + terreno + idrosemina + biostuoia + rete metallica	georete + idrosemina + biostuoia + rete metallica	georete + idrosemina + biostuoia + rete metallica
molto alta > 65°	georete + rete metallica + idrosemina	georete + rete metallica + idrosemina	

Tabella 5 – Caratteristiche prestazionali di rivestimenti di scarpate (da Sauli, 1996)

Materiali	Massa areica (g/mq)	Durabilità min (anni)	Durabilità max (anni)	Resistenza a trazione min (N/lt)	Resistenza a trazione max (N/lt)
Stuoia o rete di juta	200 - 500	1	2	1	2
Stuoia o rete di cocco	400-800	5	8	5	10
Biostuoia in cocco	300 - 400	0,5	1	0,3	0,5
Biostuoia in paglia	300-400	0,3	0,5	0,3	0,4
Biostuoia in legno	500 - 800	1	2	1,8	2,2
Geostuoia tridimensionale	500 - 800	> 5		1,3	1,8
Geostuoia tridimensionale rinforzata	1500 - 2500	> 5		38	200
Geogriglie	300 - 2200	20	120	30	1000
Geotessuti	80 - 1000	10	50	10	500
Reti metalliche e doppie tonde	1200 - 1750	30	> 100	27	65
<ul style="list-style-type: none"> • riporto di tutti i componenti in un unico processo di lavorazione • limitato raggio d'azione delle macchine • su stazioni aride (pendii soleggiati), lento della crescita incerto 					
Atto semina a spessore o con malchi	consolidamento su vaste aree di scarpate in trincea o di scarpate arginate con terreno minerale sterile		<ul style="list-style-type: none"> • il miglior effetto ecologico • germinazione rapida e sicura (effetto serra) e sviluppo • formazione di uno strato di humus • protezione meccanica della superficie del terreno 		<ul style="list-style-type: none"> • più cicli di lavoro • nei cantieri d'alta quota gli strati di copertura marcano lentamente



strutture o insediamenti. Nelle aree agricole, di parchi e giardini, urbane, industriali è invece ammesso l'uso di specie naturalizzate anche se è sempre preferibile usare le specie autoctone. L'uso dei materiali è indifferente (vedi figura).

OPERE GEOTECNICHE DI RIVESTIMENTO

Le opere di rivestimento agiscono coprendo e proteggendo il terreno. Tali interventi migliorano inoltre il bilancio dell'umidità e del calore favorendo lo sviluppo della vita vegetale sia nel terreno che nello strato aereo prossimo al suolo.

Gli strati con copertura di paglia offrono già prima dell'attecchimento della vegetazione (graminacee, erbe non graminoidi, piante legnose) una protezione contro le precipitazioni. Gli interventi di rivestimento vanno quindi impiegati laddove è richiesta una protezione rapida della superficie.

I metodi di semina saranno manuali o meccanizzati.

In tutti i metodi di semina descritti possono essere applicate in aggiunta bioreti, biostuoie, biofetri, geocelle, geostuoie, georeti.

Questi accorgimenti hanno costi notevolmente più alti e pertanto il loro impiego deve essere motivato da evidente ed elevato pericolo di erosione.

Schematicamente il consolidamento superficiale delle scarpate verrà adottato nei casi indicati in tabella.

A titolo riassuntivo si elencano nel successivo schema i materiali antierosivi utilizzati per l'Ingegneria Naturalistica.

OPERE GEOTECNICHE STABILIZZANTI

Le opere stabilizzanti consolidano il terreno in profondità nei pendii minacciati da frane, che presentano strati di scivolamento vicini alla scarpata.

L'efficacia di tali interventi è dovuta agli apparati radicali delle piante grazie alla loro capacità di legare e consolidare in profondità il terreno, nonché di resistere alle sollecitazioni meccaniche esterne e di drenare il suolo.

L'effetto immediato dipende dalla messa a dimora e dalla densità delle opere a verde. Con la formazione di radici, l'efficacia cresce sensibilmente ed aumenta costantemente al crescere dell'età, a seconda dello sviluppo dei singoli interventi.

Gli interventi stabilizzanti possono essere puntiformi o distribuiti linearmente, per cui devono essere completati per mezzo di interventi di rivestimento (inerbimenti) che esplicano la loro efficacia sull'intera superficie del terreno.

Figura 3 – Inerbimenti in cava nel Biellese (da ALTHALLER, 1998).

Tabella 6 – Opere stabilizzanti (da Schiechl e Stern, 1992)

TIPOLOGIE	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Talee	consolidamento e stabilizzazione di scarpate in terra e di muri a secco	• esecuzione rapida e semplice • possibile in tempi successivi	nessuno
Graticciati o vaminati	grati invernati per consolidare o trattenere il terreno superficiale	effetto immediato	• elevato consumo di materiale • modesto effetto in profondità • sensibile alla caduta di sassi
Fascinate vive	rinsaldamento del terreno e stabilizzazione di scarpate profonde ed acquifere	effetto di prosciugamento e di ritenuta idrica	• non si possono impiegare rami corti e contorti • sensibile alla caduta di sassi, all'abrasione • grande fabbisogno di materiale
Cordonate (sec. Prati)	stabilizzazione di scarpate ripide con terreno coerente	stabilizzazione e irrigidimento elevato	
Gradonate:			
con impiego di ramaglia con capacità di propagazione vegetativa	consolidamento e rinsaldamento di argini, rilevati e scarpate in trincea	• semplice esecuzione meccanizzata • buoni effetti in profondità • impiego di ogni tipo di rami	nessuno
con supplementare piantagione di specie arbustive ed arboree pioniere		• formazione della vegetazione iniziale e finale in un unico processo lavorativo • maggior effetto in profondità	nessuno
Copertura vegetale con ramaglia	rinsaldamento di fossi di erosione e di burroni torrentizi	effetto durevole	grande fabbisogno di ramaglia viva
Palizzate	rinsaldamento di fossi profondi e stretti	• rapido da costruire • effetto immediato	• luci e altezze limitate • solo per località poco elevate, con materiale a granulometria fine



Figura 4 – Gradonate vive in Val Venosta (da F. Boccalaro, 1994)

Tabella 7. – Opere combinate (da Schiechl e Stern, 1992)

TIPOLOGIE	IMPIEGO	VANTAGGI	SVANTAGGI
Muro a secco o scogliera	consolidamento lineare di scarpata (al piede) o di frane di modesta superficie	• esecuzione semplice • permeabilità idrica elastica, facile in parte facile da riparare	altezza costruttiva limitata
Cuneo filtrante	sostegno di scarpate labili	• economico • in armonia con la natura	nessuno
Gabbionate	consolidamento lineare del piede del pendio di scarpate bagnate o franose	• esecuzione rapida, semplice • permeabilità idrica elastica	• rinverdimento successivo difficile • si deve disporre di sassi e di petrisco giocoliano
Terre rinforzate con geotessili, geogriglie	formazione di scarpate ripide con limitato spazio a disposizione, sostegno di scarpate labili	• effetto immediato • elastico • si adatta bene al terreno • impiego del materiale esistente	• a volte sensibile ai raggi UV • limitata altezza costruttiva
Muri e cellulari:			
in legno (particolarmente di sostegno)	consolidamento lineare del piede del pendio, sostegno di scarpate labili	• in aderenza sul luogo • rapido consolidamento • permeabilità idrica • elastico	limitata altezza costruttiva
in calcestruzzo (cortina)		• rapido consolidamento • permeabilità idrica • lunga durata • grandi altezze costruttive • elevata capacità di carico	• peso elevato • trasporto dei materiali • limitato adattamento al terreno
Grata a camera in legname e talee	consolidamento di scarpate ripide ed alte	• effetto immediato • molte possibilità di variazione	nessuno
Canalette in legname e pietrame	drenaggio e regolazione delle acque superficiali		
Chiodature nei terreni	consolidamento di scarpate di rilevati o trincee, pendii franosi e forti di scavo in terreni sciolti o rocce alterate	• effetto immediato • nessuna necessità di piste di servizio • tempi esecutivi ridotti • elevata profondità di consolidamento	• lunga durata costruttiva difficile da garantire • attrezzature sofisticate



Figura 5 – Efficacia di una sistemazione combinata in Val Venosta (BZ) (da F. Boccalaro, 1994)

OPERE GEOTECNICHE COMBinate

Le opere combinate, in ausilio a quelle stabilizzanti, sono costituite da interventi di difesa dall'erosione, di sostegno di pendii instabili e di consolidamento di fossi ed alvei torrentizi e fluviali.

Possono essere eseguite in combinazione con elementi vivi producendo gli effetti desiderati subito dopo l'ultimazione dei lavori. Mediante la radicazione e lo sviluppo delle piante e delle porzioni di piante vive impiegate, col passare del tempo, aumenta con continuità il grado di efficienza delle opere.

Normalmente gli interventi combinati vengono eseguiti in ordine di tempo prima degli interventi stabilizzanti, di copertura e complementari, che invece sono costruiti esclusivamente con materiali vivi.

DRENAGGIO O PROSCIUGAMENTO BIOTECNICO

I grandi prosciugamenti ed i ripidi corsi d'acqua con portata idrica permanente richiedono degli interventi costruttivi puramente tecnici quali cunicoli, pozzetti, cunette e drenaggi.

Per i prosciugamenti più modesti e per quelli che hanno solo limitata portata idrica permanente, si sfrutta con vantaggio la proprietà della vegetazione, che deve sottrarre al terreno l'elevato consumo idrico per i suoi processi vitali.

Le zone locali permanentemente bagnate ed i luoghi temporaneamente umidi non consentono spesso un loro risanamento con mezzi puramente tecnici, e perciò si impiegano in tali zone i prosciugamenti biotecnici in maniera più efficace. Allo scopo si combinano materiali da costruzione vivi e morti oppure si eseguono i prosciugamenti esclusivamente con materiali da costruzione vivi.

I metodi di drenaggio propri dell'Ingegneria Naturalistica consistono in:

- Prosciugamenti con specie vegetali "pompanti"
- Fossi con zolle
- Drenaggio con fasciname vivo
- Drenaggio con stangame vivo
- Cunetta viva
- Muro a secco e cuneo filtrante

CARATTERISTICHE BIOTECNICHE DELLE PIANTE

Negli interventi di Ingegneria naturalistica gli arbusti autoctoni (in vaso o talea) rappresentano i principali materiali vivi per il raggiungimento degli obiettivi progettuali, impiegati sia da soli, sia in abbinamento con materiali morti (legno, geotessuti) e con semplici interventi antierosivi (idrosemine, biostuoie), come interventi stabilizzanti (vimate vive, fascinate vive, palizzate vive, ecc.).



Figura 6 – Frassini messi a dimora nelle praterie da parte dei contadini, per il prosciugamento di aree minacciate da franamenti (da H. M. Schiechl, 1991).

Tabella 8 – Contributo stabilizzante degli apparati radicali per la stratigrafia del suolo/sottosuolo

Descrizione	Tipo di pendio	Effetto stabilizzante delle radici
A	Terreno di copertura(*) relativamente sottile, completamente rinforzato dalle radici degli alberi, sotto il quale esiste un <i>bedrock</i> compatto ed impenetrabile alle radici	Lieve; all'interfaccia suolo- <i>bedrock</i> è presente una superficie di debolezza
B	Simile alla situazione A, eccetto che il <i>bedrock</i> contiene discontinuità che sono penetrabili alle radici; i fusti e le radici agiscono come pali	Maggiore
C	Terreno di copertura sottile che contiene un strato di transizione con densità e resistenza al taglio che aumentano con la profondità; le radici che penetrano nello strato di transizione forniscono una forza stabilizzante per il pendio	Sostanziale
D	Un terreno di copertura sottile si trova al di sotto della zona delle radici; gli alberi "galleggiano" su un terreno sottostante privo di apparato radicale	Effetto modesto su una situazione di instabilità collocata in profondità

(*) Il "terreno di copertura" è inteso, a seconda della situazione, sia come coltre detritica che come suolo in senso pedologico.

Fonte: Tsukamoto e Kusakabe, 1984.

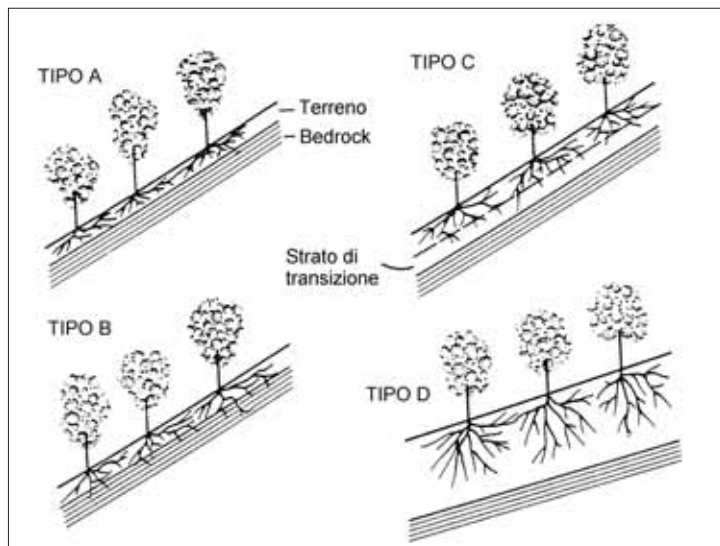


Figura 7 – Interazione radici/stratigrafia (da Tsukamoto e Kusakabe, 1984)

Con le opere stabilizzanti viene rinforzato solo lo strato superficiale del terreno in quanto i "chiodi vivi" intercettano una superficie di scorrimento posta a 50-100 cm di profondità.

Questo vale per l'opera con piante sviluppate sia nella chioma che nell'apparato radicale ma, per il calcolo di verifica di stabilità (Preti F. e Cornelini P., 2006), è necessario mettersi nelle condizioni più sfavorevoli, cioè di opera appena eseguita, escludendo il contributo delle radici, considerando solo la parte lignea (viva o morta) presente a fine lavori.

Nel tempo, poi, lo sviluppo degli apparati radicali degli arbusti si tradurrà in un ampliamento dello spessore del substrato compenetrato dalle radici, in funzione del tipo di suolo e del suo contenuto d'acqua.

È quindi importante conoscere la morfologia degli apparati radicali degli arbusti mediterranei per valutare l'incremento di stabilità di un versante nel tempo. Se, ad esempio, la profondità di radicazione è di 1 m, non significa che viene migliorata la stabilità di uno strato di terreno spesso 1 m, ma che l'ancoraggio delle radici ha effetto sul piano di scorrimento fino alla profondità di 0,5 m (vedi figura).

APPLICAZIONI DI TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA IN AMBITO MEDITERRANEO

L'obiettivo è quello di individuare le tecniche di Ingegneria Naturalistica più idonee alla rivegetazione di ambienti particolarmente degradati in aree a vegetazione di tipo mediterraneo (principalmente gariga e macchia).

Le tecniche da impiegare dovranno essere tra quelle sotto elencate:

- 1) rivestimento con biostuoia preseminata con sementi possibilmente autoctone (graminacee e leguminose) quali *Brachypodium rupestre*, *Molinia arundinacea*, *Calamagrostis arundinacea*, *Calamagrostis varia*, *Festuca arundinacea*, *Festuca circummediterranea*, *Festuca rubra*, rivestito con rete metallica per pendenze accentuate;
- 2) fascinata o cordonata con impiego di materiale vegetale vivo (talee di *Cistus* vari, *Calicotome v.*, *Euphorbia d.*, *Lavandula s.*, *Tamarix g.*, e messa a dimora di arbusti autoctoni di *Spartium junceum*, *Erica arborea*, *Phyllirea latifolia e angustifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*, *Pistacia terebinthus*);
- 3) palizzata viva di talee e arbusti in vaso;
- 4) rivestimento con stuoia in fibra di cocco e semina di piante erbacee perenni e messa a dimora di arbusti autoctoni in vaso.

Elenco materiali vegetali vivi da impiegare:

- sementi erbacee: *Ampelodesmos mauritanica*, *Cymbopogon hirtus*, *Festuca*

Tabella 9 – Effetti della vegetazione sulla stabilità dei pendii

Processi idrologici		Influenza
1	La chioma intercetta le precipitazioni, causando perdite per assorbimento ed evaporazione: ciò riduce la quantità d'acqua disponibile per l'infiltrazione	B
2	Le radici e i fusti incrementano la scabrezza della superficie del terreno e la permeabilità del terreno, favorendo la capacità di infiltrazione	A
3	Le radici assorbono l'umidità dal terreno la quale passa nell'atmosfera mediante la traspirazione, favorendo una minore pressione interstiziale	B
4	La diminuzione dell'umidità del terreno può accentuare le fessure di disseccamento nello stesso, da cui risulta una maggiore capacità di infiltrazione	A
Processi meccanici		Influenza
5	Le radici rinforzano il terreno, incrementandone la resistenza al taglio	B
6	Le radici degli alberi possono ancorarsi a strati stabili fornendo un supporto al soprastante terreno di copertura mediante l'effetto "contrafforte" (palo) e l'effetto "arco"	B
7	Il peso degli alberi sovraccarica il pendio, incrementando i valori della componente normale e di quella tangenziale al pendio	A/B
8	Le piante esposte al vento trasmettono forze dinamiche al pendio.	A
9	Le radici legano le particelle di terreno alla superficie del pendio, riducendo la loro suscettibilità all'erosione	B
A: contrario alla stabilità B: favorevole alla stabilità		

Fonte: Greenway, 1987.

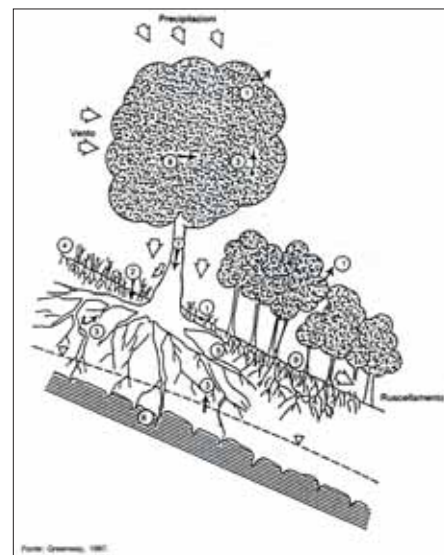


Figura 8. – Interazione radici / superfici di scorrimento (da Greenway, 1987).

dell'areale mediterraneo coerenti con la flora locale. Dovranno essere particolarmente resistenti alla siccità ed alla insolazione; si dovrà prestare particolare attenzione a non depauperare il già precario patrimonio vegetale operando negli aggruppamenti più evoluti.

Impiego di materiali organici inerti:

- legname, reti di juta, fibra di cocco, stuoie in fibre di paglia, stuoie in fibre di cocco, paglia, fieno, *compost*.

Materiali di sintesi:

- griglie, reti, tessuti di materiale sintetico, fertilizzanti chimici, collanti chimici.

Altri materiali:

- pietrame, ferro, acciaio.
- Sarà opportuno privilegiare tutte quelle strutture che abbinano i vari materiali inerti con quelli biologici, affinché favoriscano il consolidamento e la prevenzione dell'erosione superficiale proteggendo in particolare l'apparato radicale.

In alcune particelle sperimentali, sarà bene realizzare un impianto di irrigazione automatico nella metà superiore della scarpata, allo scopo di verificare i diversi gradi di sviluppo della vegetazione in rapporto alla disponibilità idrica.

CONCLUSIONI

Si può quindi affermare che l'Ingegneria Naturalistica ha ormai superato in Italia la fase pioniera e si sta accreditando presso le pubbliche amministrazioni ed i professionisti come uno strumento fondamentale per la salvaguardia del territorio e la riqualificazione dell'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- BOCCALARO F. (2006). *Difesa del territorio e ingegneria naturalistica*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- SCHIECHTL H. M. (1991). *Bioingegneria Forestale - Biotecnica Naturalistica*. Edizioni Castaldi, Feltre (BL).

arundinacea, Festuca circummediterranea, Festuca rubra, Brachypodium rupestre, Molinia arundinacea, Calamagrostis arundinacea, Calamagrostis varia, Anagyris foetida;

- talee: *Cistus* vari, *Calicotome v., Euphorbia D., Lavandula S., Tamarix G., Artemisia Arborescens, Atriplex halimus, Euphorbia dendroides, Juniperus, Lavandula, Santolina;*
- suffrutici, arbusti: *Spartium junceum, Erica arborea, Phyllirea latifolia e angustifolia, Pistacia lentiscus, Myrtus*

communis, Arbutus unedo, Pistacia terebinthus, Lavandula stoechas, Cistus salvifolius, Rhamnus alaternus, Thymus vulgaris, Lavandula latifolia, Euphorbia dendroides, Aphyllanthes mospeliensis, Atriplex halimus, Calicotome villosa, Cistus albidus, Helichrysum italicum;

- alberi: *Quercus ilex, Fraxinus ornus, Quercus suber, Quercus pubescens, Pinus halepensis.*

Il materiale dovrà essere raccolto in stazioni con caratteristiche microclimatiche tipiche



Figura 9. – Piantagione di Ammofila a Cala Mesquida (da F. Boccalaro, 2010).

Gli effetti sull'ambiente naturale del sisma del 6 aprile 2009

GIANCARLO BOSCAINO
e-mail: giancarlo.boscaino@regione.abruzzo.it

GIORGIO PIPPONZI
e-mail: giorgio.pipponzi@regione.abruzzo.it

Contributo tecnico-scientifico per le varianti ai piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI)

Geologi, Autorità dei Bacini d'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro

PREMESSA

A partire dal mattino del 6 aprile 2009 sono stati avviati dai geologi dell'Autorità dei Bacini d'Abruzzo rilievi geologici nell'area del sisma per la mappatura degli effetti del terremoto sull'ambiente naturale, prestando particolare attenzione nel valutare il rischio residuo dei fenomeni osservati (cfr. figura 1). Nell'ambito di questa attività sono stati rilevati, in particolare, numerose frane di crollo (rock fall) e diversi sprofondamenti. Un numero significativo di questi fenomeni non risulta mappato all'interno del PAI (cfr. figure 2, 3, 4, 5 e 6). Ai fini di una corretta pianificazione territoriale, risulta di straordinaria importanza circoscrivere e valutare con precisione la diffusione spaziale dei fenomeni osservati. Il presente lavoro vuole fornire un efficace contributo tecnico e scientifico per la redazione delle Varianti di adeguamento ai Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico delle Autorità di Bacino, considerati piani strategici per la prevenzione della pericolosità indotta dai dissesti di natura idrogeologica.

1. IL TERREMOTO DI L'AQUILA

L'attività della ben nota sequenza sismica che ha colpito l'area aquilana, culminata con la scossa principale del 6 aprile 2009, ha causato una larga serie di "fenomeni cosismici". Essi comprendono molteplici dissesti sul territorio, tra i quali sono stati riconosciuti: frane di crollo, fratture, sprofondamenti, variazioni della portata di sorgenti, fenomeni di liquefazione. L'areale direttamente colpito da tali fenomeni ricalca a grandi linee il cosiddetto "Cratere Sismico" delimitato dal Dipartimento della Protezione Civile, anche se alcuni dei dissesti segnalati si sono verificati a distanze maggiori, fino a 50-60 km, dall'epicentro del sisma. Il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale, nell'ambito delle attività tecnico-scientifiche, avviate già nelle prime ore del mattino del 6 aprile, che ha visto la partecipazione di un cospicuo numero di geologi dell'ISPRA, del CNR, dell'Autorità di Bacino e di numerosi Dipartimenti di Scienze Geologiche delle principali Università del centro Italia, ha svolto da subito un ruolo di coordinamento per il censimento e valutazione del rischio residuo connesso ai fenomeni cosismici sull'ambiente

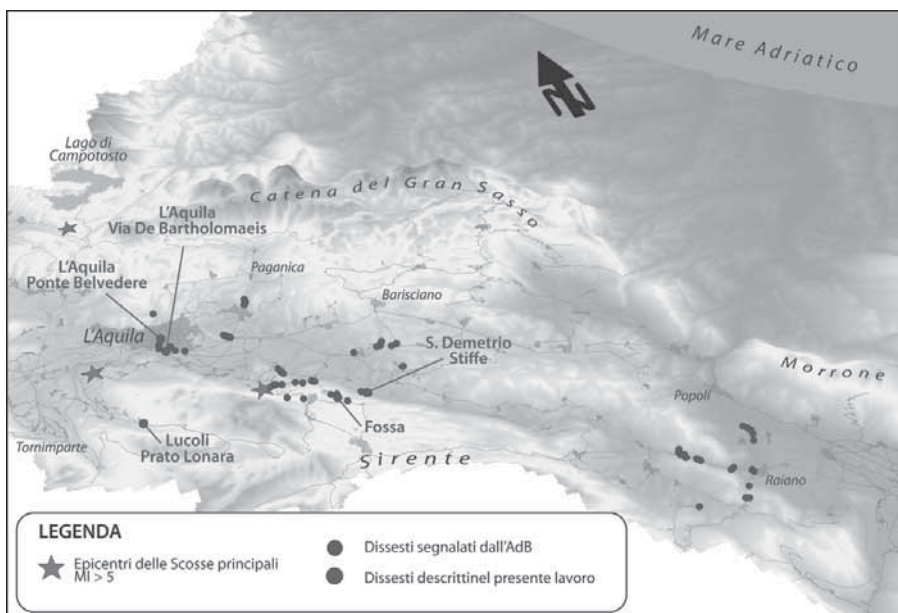


Figura 1

naturale. Per rendere il più completo possibile il quadro delle attività in itinere, nell'ambito delle necessarie collaborazioni tra i soggetti operanti nell'area del cratere sismico, ai rilievi

di natura prettamente geologica sono stati aggregati anche i dati provenienti dagli altri Enti operanti nel sistema di Protezione Civile, quali Vigili del Fuoco, ANAS, Compartimenti delle

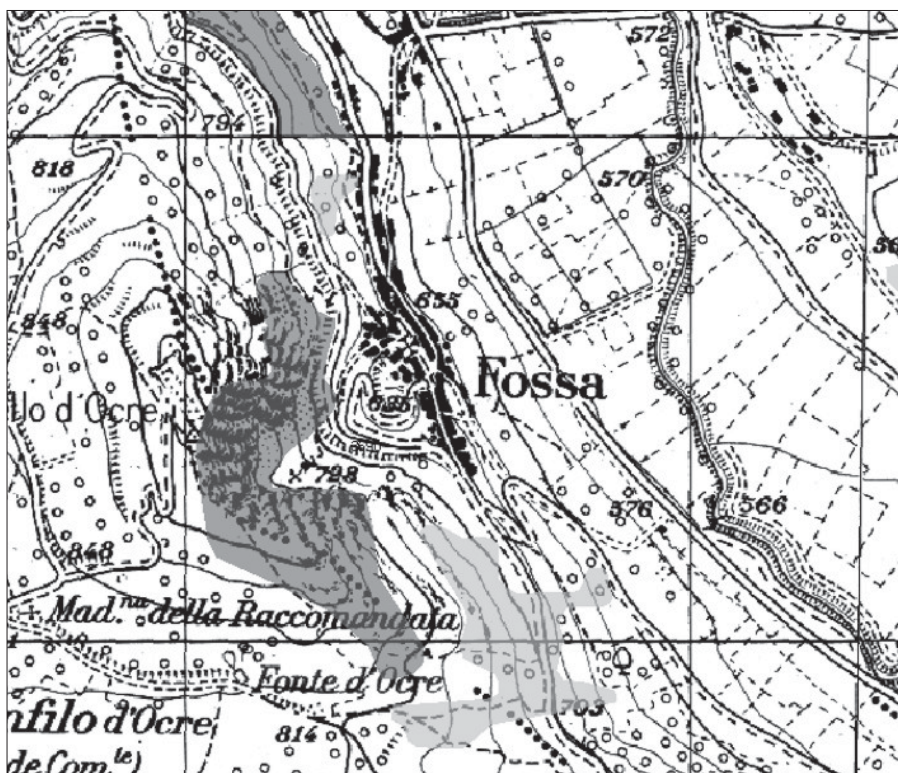


Figura 2

viabilità provinciali, Corpo di Guardia Forestale, Gruppo Speleologico Alpino, Uffici Tecnici Comunali e segnalazioni di privati cittadini. Le segnalazioni pervenute, raccolte in maniera speditiva durante le prime fasi dell'emergenza, sono state successivamente catalogate e riversate in un database in ambiente GIS, che contiene tutti i dati sensibili sia per la gestione delle operazioni di soccorso durante la prima fase emergenziale, sia per le successive fasi di gestione e pianificazione delle attività post-emergenziali e di ricostruzione che sono tuttora in corso. In tal modo sono state catalogate e messe a sistema una grande mole di informazioni relative a situazioni di dissesto geomorfologico ed idrogeologico occorse a seguito del sisma e che saranno inserite nella cartografia tematica del PAI.

2. FRANE DI CROLLO

In occasione del "main shock" si sono verificati un numero significativo di fenomeni di tipo rock-fall in aree non incluse nel PAI (cfr. figure 2, 3, 4, 5 e 6). Tali fenomeni sono generalmente annoverati tra i movimenti gravitativi più pericolosi, a causa dell'elevata velocità con cui si manifestano; durante la scossa principale e le repliche dei giorni successivi, essi hanno danneggiato insediamenti civili ed infrastrutture, e soprattutto hanno severamente minacciato l'incolumità delle vite umane (cfr. figure 2, 3, 4, 5 e foto 1,2,3). Per tale motivo risulta estremamente importante, ai fini di una corretta pianificazione territoriale, circoscrivere e valutare con precisione la diffusione spaziale del fenomeno. Pertanto nella Variante generale del Piano, in corso di esecuzione, si collezionerà sistematicamente in ambito GIS tutti i nuovi fenomeni di dissesto, desunti dai dati che sono già in possesso o che saranno resi disponibili all'Autorità di Bacino. Per ognuno di essi verrà quindi eseguito uno studio più approfondito e dettagliato, quando necessario corredato da rilevamenti sul terreno, al fine di arrivare ad un quadro completo, il più possibile aggiornato, di tali fenomeni di dissesto.

3. CAVITÀ SOTTERRANEE E FENOMENI DI SPROFONDAMENTO

Nell'ampio contesto della perimetrazione di aree a pericolosità idrogeologica, nella fase di redazione del PAI è risultato necessario "disciplinare anche alcune situazioni di pericolosità, sia perimetrabili che non perimetrabili nella cartografia di Piano, precisamente, grotte carsiche ed altre cavità sotterranee" (cfr. Relazione Generale del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi). Già negli studi propedeutici alla stesura del PAI viene riportata l'inchiesta svolta dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sui movimenti franosi regio-



Figura 3

nali (Ministero Lavori Pubblici, 1964), per il periodo compreso tra il 1957 ed il 1963, la quale evidenzia la presenza di alcuni Comuni con problemi di sprofondamento. Si evidenzia come il Piano non abbia recepito integralmente le segnalazioni contenute nell'inchiesta svolta dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nella fase di Variante generale del Piano, si riscontra quindi la necessità approfondire lo studio dei dissesti provocati dalle cavità sotterranee (cfr. foto 4 e 5), i quali, pur avendo a volte un alto grado di pericolosità, sono attualmente poco studiati e censiti con metodologie che non si rivelano adatte a descrivere i loro aspetti specifici.

3.1. ASPETTI GEOLOGICI

La presenza di cavità sotterranee sul territorio di competenza dell'Autorità di Bacino è ascrivibile essenzialmente ad una genesi di origine naturale o antropica. Infatti, se in talune circostanze tale trasformazione è derivata dalla naturale evoluzione dell'ambiente geologico, localizzandosi principalmente nelle aree interne dell'Appennino abruzzese, in molte altre è stata sicuramente indotta dalle attività antropiche, in special modo nei pressi dei centri abitati più antichi o maggiormente antropizzati dell'Abruzzo costiero. In questo contesto, è utile allora suddividere tali cavità in due gruppi: cavità naturali e cavità antropiche.

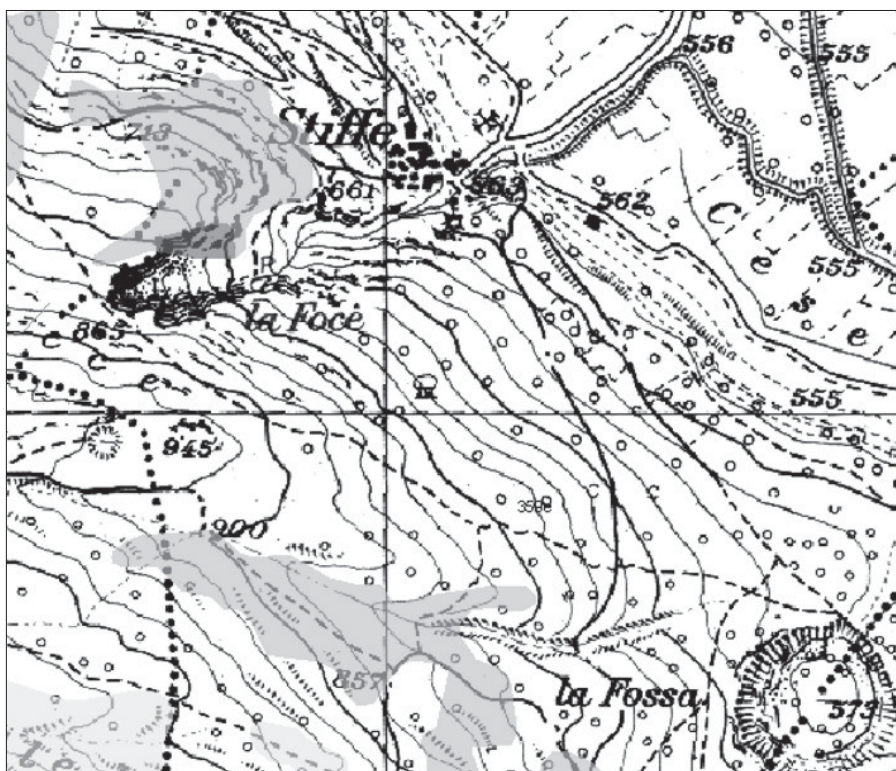


Figura 4

A - CAVITÀ NATURALI

Le cavità naturali rappresentano elementi peculiari del sottosuolo dell'Appennino abruzzese, e si originano in rocce solubili per effetto della azione chimica esercitata dalle acque naturali (leggermente acide) all'interno di masse rocciose interessate da un diffuso sistema di discontinuità strutturali, quali faglie e diaclasi, generatisi nelle rocce a causa di deformazioni di natura tettonica. Grazie a questa solubilità le acque tendono a penetrare all'interno allargando le vie di circolazione sotterranea e creando cavità più o meno grandi fino ad arrivare ad un sistema complesso di grotte e cunicoli. Dal punto di vista geologico-tecnico le cavità sotterranee naturali possono essere descritte e classificate in relazione al tipo di roccia solubile coinvolta. Nel territorio regionale, nella maggioranza dei casi, tali cavità si sviluppano nelle rocce calcaree, che costituiscono l'ossatura delle dorsali montuose carbonatiche dell'Abruzzo interno. Ne deriva una scarsità o assenza di idrografia superficiale e la formazione di un sistema di cavità ipogee che a volte si manifesta in superficie con doline o inghiottitoi. Le cavità naturali possono originarsi anche all'interno di rocce evaporitiche (gessi ed anidriti, che affiorano estesamente lungo le pendici della Maiella, nell'area della Laga e nel Teramano) o in corrispondenza di conche intermontane e su strette valli fluviali generalmente di origine tettonica, dove sono presenti successioni carbonatiche massicce e carsificate, sedi di falde acquifere di grande potenza, a cui si sovrappongono depositi fluvio-lacustri o continentali di potenza variabile. In questi casi si parla comunemente di "Sinkholes", i quali si originano in contesti di complesse situazioni geologico-strutturali ed idrogeologiche del territorio e vengono innescati per motivi di diversa natura quali un sisma, un periodo di siccità seguito da un periodo di ricarica e di risalita della falda (che può provocare una variazione rapida del livello piezometrico), l'emungimento di grandi quantitativi di acqua dal sottosuolo. In alcuni centri abitati dell'Abruzzo interno, l'espansione edilizia recente ha portato, o può aver portato, alla costruzione di edifici al di sopra di tali cavità, senza le adeguate indagini tecniche dettagliate, creando le condizioni di pericolosità e rischio idrogeologico associati.

B - CAVITÀ ANTROPICHE

Nei centri abitati dell'Italia centrale molti problemi di instabilità derivano dalla presenza di cavità artificiali, di vario tipo e di varie dimensioni, scavate dall'epoca romana ai primi decenni del XX secolo per soddisfare esigenze quanto mai diversificate. Catacombe, cunicoli di drenaggio, acquedotti, cantine, cave in sottosuolo di materiali da costruzione, variamente associate ed interconnesse, pervadono il sottosuolo di alcuni centri abitati e principalmente

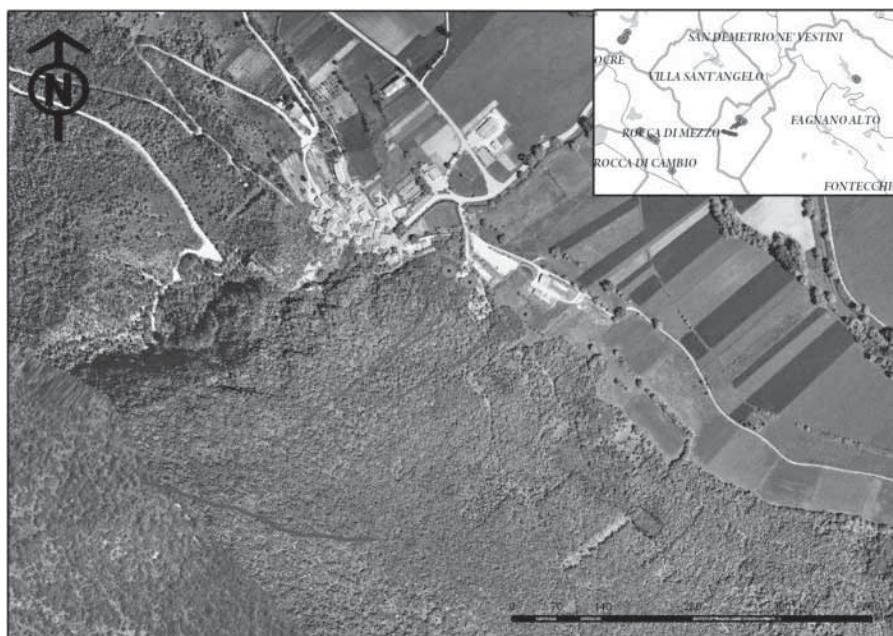


Figura 5

di quelli più antichi. Nel tempo si è persa la memoria della presenza e ubicazione di tali cavità. Durante l'intensa espansione edilizia degli anni 50-70 si è costruito un tessuto continuo di strutture urbane al di sopra di tali gallerie, non sempre preceduto da indagini tecniche dettagliate. Non sono rari i casi di edifici costruiti con fondazioni dirette al di sopra di reti ipogee a piccola profondità ed in condizione di potenziale pericolo. Il problema si esalta in corrispondenza dei centri maggiori, quali ad esempio Chieti e Lanciano, ove tali cavità sono a profondità tali da interagire con le opere di urbanizzazione, creando vincoli, difficoltà tecniche ed aggravati economici nella realizzazione di nuove opere in

superficie e nel sottosuolo. In alcuni casi, tali cavità sono in sufficienti condizioni di stabilità e sono utilizzate per la coltivazione di funghi, come magazzini, ecc. In molti casi, invece, esse sono in condizioni di stabilità molto precarie sia per il modo in cui sono state realizzate e gestite in passato, sia per il progressivo e naturale ammaloramento delle strutture in sottosuolo; tali cavità condizionano la sicurezza di ampie aree del territorio urbano. Infatti, il verificarsi di crolli e voragini in corrispondenza di dette cavità determina condizioni di rischio per la cittadinanza e problemi legati alla interruzione di strade e di reti di sottoservizi (fognature, reti idriche, elettriche, telefoniche, ecc.).

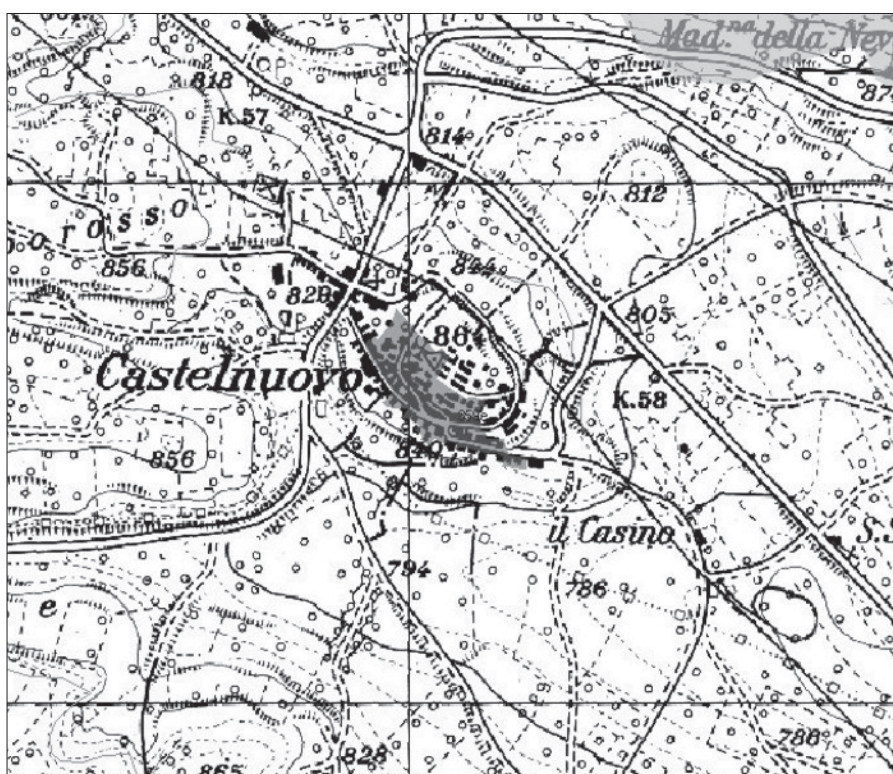


Figura 6



Foto 1



Foto 2



Foto 3

3.2. ANALISI DEI FENOMENI DI SPROFONDAMENTO

Per l'analisi completa del rischio di sprofondamenti, nell'ambito della Variante generale al PAI, si farà riferimento allo schema operativo contenuto nel rapporto "Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana" di Canuti e Casagli (1994). La descrizione completa dello stato di natura prevede la realizzazione di carte tematiche, che rappresentano la base conoscitiva per le successive valutazioni di pericolosità e rischio da sprofondamenti. Tali basi cartografiche sono state già in buona parte prodotte in occasione della realizzazione del Piano di Bacino per l'assetto idrogeologico. Nella fase di variante al Piano potrà essere valutata la possibilità di procedere ad un aggiornamento dei tematismi esistenti (ad esempio la Carta Geolitologica, la Carta delle Acclività o la Carta delle Coperture Detritiche); in aggiunta si dovrà procedere alla realizzazione di nuovi tematismi, quali la Carta delle Lineazioni Tettoniche e la Carta di Distribuzione delle Cavità Sotterranee;

VALUTAZIONE DELL'INTENSITÀ

Per gli sprofondamenti la definizione dell'intensità risulta problematica, poiché la severità di un evento dipende da una larga serie di fattori di complessa valutazione. In relazione a tale aspetto, è possibile definire la severità di un evento a priori rispetto alle conseguenze attese, in base alle sole caratteristiche geometriche, cinematiche e meccaniche. Poiché gli sprofondamenti sono per loro natura fenomeni rapidi, la quantificazione dell'intensità può essere fondata sulla stima delle dimensioni della massa.

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

La definizione canonica di Pericolosità riflette la "probabilità che un fenomeno di dissesto di determinata intensità si verifichi in una determinata area in un determinato intervallo di tempo". Allo stato attuale delle conoscenze è pressoché impossibile determinare con sufficiente precisione il momento e il luogo in cui si può verificare un singolo fenomeno franoso. Nel tentativo di arrivare ad una definizione semplificata di pericolosità, nel Piano per l'Assetto Idrogeologico di competenza dell'Autorità di Bacino (ed in linea con le indicazioni a livello nazionale), il concetto di pericolosità è stato svincolato da previsioni probabilistiche temporali. In questo modo si è venuto ad esprimere il grado di pericolosità relativa (probabilità di occorrenza relativa del dissesto fra le diverse porzioni di territorio senza dare indicazioni temporali circa il suo verificarsi); in tale ottica, la definizione operativa di pericolosità si riduce in "probabilità che un fenomeno di dissesto si verifichi in una determinata area". Alla luce degli studi precedenti e ancora in atto con-



Foto 4



Foto 5

dotti dagli Enti di Ricerca esperti in materia, è doveroso sottolineare che la valutazione della pericolosità connessa con i fenomeni di cui si parla è ancora oggetto di studi e discussione in ambito scientifico. Appare quindi necessario, nella fase di valutazione della pericolosità da sprofondamenti e cavità sotterranee, attenersi scrupolosamente alle direttive e/o indicazioni di carattere tecnico-procedurale indicate dall'ISPRA. Ricorrendo quindi alla cartografia tematica di Piano si possono quindi perimetrare le aree in cui è stata segnalata la presenza di cavità sotterranee e/o sprofondamenti, ed individuare le aree dove, con tutta probabilità, si potranno avere sprofondamenti futuri. Con l'ausilio di un GIS, potranno essere elaborati una grande mole di dati, per tenere conto dello scenario morfologico, della natura e dello spessore della copertura sedimentaria, della presenza di linee sismogenetiche attive, dell'ubicazione degli epicentri con relative intensità sismiche dei terremoti, della presenza di sorgenti minerali e dell'aggressività delle acque, nonché nel numero dei casi di sprofondamento avvenuti.

CONCLUSIONI

Il terremoto del 6 aprile 2009 ha evidenziato quanto sia importante circoscrivere e valutare con precisione la diffusione spaziale dei suddetti fenomeni. Nella cartografia tema-

tica di Piano si possono perimetrare non solo le aree in cui è stata segnalata la presenza di frane, cavità sotterranee e/o sprofondamenti, ma anche individuare le aree dove, con tutta probabilità, si potranno avere futuri eventi. Con l'ausilio di un GIS, potranno essere elaborati una grande mole di dati, per tenere conto dello scenario morfologico, della natura e dello spessore della copertura sedimentaria, della presenza di linee sismogenetiche attive, dell'ubicazione degli epicentri con relative intensità sismiche dei terremoti, della presenza di sorgenti minerali e dell'aggressività delle acque, nonché nel numero dei casi di frane di crollo e sprofondamento avvenuti. In definitiva il presente contributo tecnico-scientifico intende evidenziare che per una corretta pianificazione territoriale occorre che nei Piani per l'Assetto Idrogeologico, la stima degli scenari di pericolosità da frana e pericolosità dovuta a collassi di cavità sotterranee tenga conto anche delle azioni sismiche attese al suolo.

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2006), Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, *Note Illustrative della Carta Geologica alla scala 1:50.000*, F. 358.
- ALBERTI A., BENEÒ E., MANFREDINI M., SCARSELLA F. (1955), *Note illustrative della carta geologica d'Italia*, F. 139 L'Aquila.
- BENEÒ E. (1940), *Tettonica della valle dell'Aterno (Abruzzo)*, Boll. Uff. Geol. Ital.
- BENEÒ E. (1943), *Note illustrative della carta geologica d'Italia*, F. 146 Sulmona.
- BERTINI T., TOTANI G., CUGISI F., FARRONI A. (1992), *Caratterizzazione geologica e geotecnica dei sedimenti quaternari del settore occidentale della conca aquilana*, Q. DISAT Università di L'Aquila.
- BERTINI T., BOSI C. (1970), *Geologia della media valle dell'Aterno*, Mem. Soc. geol. 9.
- BOSI C. (1975), *Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino centrale*, Boll. Soc. Geol. It-94.
- BERTINI T., BOSI C. (1993), *La tettonica quaternaria della conca di Fossa*, Il Quaternario 6.

- BLUMETTI A.M., CAVINATO G.P., TALLINI M. (1996), *Evoluzione plio-quaternaria della conca di L'Aquila-Scoppito: studio preliminare*, Il Quaternario 9.
- BOSI C., GALADINI F., MESSINA P. (1993), *Neotectonic significance of bedrock fault scarps: case studies from the Lazio-Abruzzi Apennines (central Italy)*, Geomorph. Suppl.
- BOSI C., MESSINA P. (1991), *Ipotesi di correlazione fra successioni morfo-litostratigrafiche plio-pleistoceniche nell'Appennino laziale-abruzzese*, Studi Geologici Camerti.
- CALABRESI G. (1971), *Determinazione e scelta dei parametri geotecnici che intervengono nel calcolo dei cedimenti delle fondazioni*. Atti delle conferenze di geotecnica di Torino II ciclo.
- COLACICCHI R. (1966), *Le caratteristiche delle facies abruzzesi*. Mem. Soc. geol.
- DEMANGEOT J. (1965), *Geomorfologie des Abruzzes Adriatiques*. CNRS Paris.
- DEMANGEOT J. (1973), *Neotectonique et depots quaternaires dans l'Apennin*. Ass. NAZ. Lincei.
- FOCARDI P. (2005), *La progettazione della campagna geognostica per la caratterizzazione dei terreni e la definizione del modello geotecnico*. Giornale di Geologia Applicata 2.
- GALADINI F., GIRAUDI C., GIULIANI R. (1991), *Su alcune dislocazioni di un detrito di versante in un'area tettonicamente attiva (Il Tagno-media Valle dell'Aterno)*. Boll. Soc. Geol. It-110.
- GALADINI F., MESSINA P., SPOSATO A. (1999), *Tettonica quaternaria nell'Appennino centrale e caratterizzazione dell'attività di faglie nel Pleistocene superiore-Olocene*, CNR-Istituto di ricerca sulla tettonica recente.
- GHISETTI F., VEZZANI L. (1996), *Geometrie deformative ed evoluzione cinematica dell'Appennino Centrale*, Studi Geologici Camerti vol. 24 (1996-1997), Camerino, 127-154.
- LEONARDIS F. (2002), *Rilevamento geologico della zona centrale della media valle dell'Aterno*, Università degli Studi di Perugia, inedito.
- MARCHETTI S. (2001), *Indagini in sito per la caratterizzazione meccanica ed ambientale del sottosuolo. Il dilatometro piatto*, Atti delle conferenze di geotecnica di Torino XVIII ciclo.
- PASQUALINI E. (1983), *Standard Penetration Test*, Atti di Scienza delle costruzioni. Politecnico di Torino.
- MARINI G. (1967), *Il lago Pleistocenico della conca de L'Aquila*, CET Lanciano.
- PETITTA M., TALLINI M. (2000), *Studi idrogeologici preliminari ad una valutazione della vulnerabilità degli acquiferi della piana L'Aquila-Scoppito*, Q. DISAT Università di L'Aquila.
- PETITTA M., TALLINI M. (2001), *Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini ideologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001)*, Boll. Soc. Geol. 121.
- VEZZANI L., GHISETTI F. (1998), *Carta geologica d'Abruzzo*.

WEBGRAFIA

- <http://www.igag.cnr.it/>
- <http://www.marchetti-dmt.it/>
- <http://www.associazionegeotecnica.it>
- <http://www.geologi.it>
- <http://www.consiglionazionalegeologi.it>
- <http://www.socgeol.it/>
- <http://www.isprambiente.it/site/it-IT/>
- <http://www.regione.abruzzo.it/pianofrane>
- <http://www.regione.abruzzo.it/pianoalluvioni>
- <http://aiqua.irtr.rm.cnr.it/>
- <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

Importanza della gestione e manutenzione delle opere di difesa da caduta massi

1. INTRODUZIONE

Le NTC 2008 ormai entrate in vigore richiedono che le opere e le componenti strutturali debbano essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzioni in modo tale da consentire la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con normato livello di sicurezza. In quest'ottica, il presente articolo intende sottolineare l'importanza fondamentale della gestione e della manutenzione dei sistemi di protezione e prevenzione dal rischio idrogeologico, sia per l'elevato standard di affidabilità e sicurezza richiesto e oramai riconosciuto alle opere di difesa da caduta massi (vedi norme UNI e ETAG27 per barriere paramassi), sia per il fatto che si tratta di assemblaggi anche molto complessi di componenti ad elevato contenuto tecnologico, di strutture e di dispositivi metallici sottoposti a condizioni ambientali e ad eventi accidentali (urti, incendi, etc.) che alla lunga ne minano l'affidabilità, la durabilità e l'efficienza residua. È preso quale esempio un tratto di strada lungo la quale – per effetto dell'intrinseca natura geologica – si è resa necessaria la pianificazione e la predisposizione di adeguate opere di protezione e prevenzione da caduta massi, come gallerie artificiali, barriere paramassi ad elevata dissipazione di energia, reti in aderenza e rivestimenti corticali, barbacani e tirantature, nonché la relativa messa in opera di un complesso sistema di monitoraggio geotecnico.

Veneto Strade SpA, Ente gestore dell'arteria stradale, ha curato il mantenimento di efficacia ed efficienza delle opere di prevenzione, attraverso una continua gestione del sistema di monitoraggio ed una manutenzione programmata sulle strutture paramassi.

2. OPERE DI DIFESA DA CADUTA MASSI E PIANI DI MANUTENZIONE

2.1. GENERALITÀ

Secondo la citata normativa e in continuità al D.Lgs. 109/94, il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi o di effettiva realizzazione, l'attività di manutenzione (in genere ordinaria) dell'intervento al fine

di conservarne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico, è rappresentato dal piano di manutenzione, che costituisce il principale strumento di gestione delle attività manutentive pianificabili, insieme con il Fascicolo Tecnico che contempla gli aspetti legati alla sicurezza. Attraverso tale piano, si devono individuare esaurientemente gli elementi da salvaguardare e le risorse necessarie ad ottimizzare le economie gestionali mantenendo il livello di prestazionalità nel tempo, e si devono programmare gli interventi nel corso della vita utile.

Per tempistiche e organizzazione degli interventi prospettati in fase di progetto, si deve tenere conto della tipologia di materiali utilizzati, delle prestazioni richieste e delle possibili condizioni al contorno rilevate in loco quali, ad esempio:

- possibili azioni sulle strutture (permanenti, variabili, accidentali e di natura sismica);
- aggressività dell'ambiente (terreno, acque sotterranee e superficiali, atmosfera);
- ubicazione dell'opera sul versante (possibilità di effettuare operazioni di controllo e verifica da parte di personale non rocciatore, presenza e necessità di manutenzione di traccioli di servizio, ecc.);
- ogni altra evenienza negativa (ad es. presenza di correnti vaganti per la possibile corrosione di elementi in acciaio).

2.2. STRATEGIE MANUTENTIVE

Per quanto riguarda le opere di difesa da caduta massi, sia di tipo attivo che passivo, si possono prevedere le seguenti strategie manutentive:

- strategia preventiva o programmata, da applicarsi nei casi in cui è possibile individuare con una certa precisione la frequenza del guasto, oppure per gli elementi che - indipendentemente dallo stato di degrado - richiedono una periodicità di controllo fissa, anche dettata da prescrizioni di norme;
- strategia predittiva o secondo condizione, la quale consiste nell'effettuazione di operazioni ispettive (e/o di regolare

assistenza) previste e che hanno luogo in tempi periodicamente prestabiliti, allo scopo di conservare le caratteristiche funzionali, per intervenire solo al momento di assoluta necessità; il programma dovrà definire la periodicità dell'ispezione finalizzata a individuare il guasto o la sua imminenza, cui associati i relativi parametri da misurare;

- strategia a rottura o a guasto avvenuto, da applicarsi quando non è possibile prevedere né la periodicità dell'avaria né la periodicità dell'ispezione, ma solo la procedura e l'operatore che dovrà eseguire l'intervento una volta che se ne manifesta la necessità (ad esempio al verificarsi di un evento di caduta massi).

Nel piano di manutenzione delle opere di difesa da caduta massi e soprattutto per gli interventi di tipo passivo soggetti ad urti di blocchi rocciosi in moto sul versante di cui non è possibile quantificare a priori l'entità degli effetti in termini di danni e/o ammaloramenti sulle strutture, devono essere comunque indicate le azioni di manutenzione straordinaria volte a ripristinare l'uso del bene ad evento avvenuto, nonché istruzioni per il recupero, il riciclo e lo smaltimento dei materiali provenienti dalle operazioni di manutenzione o dallo smantellamento dell'opera.

2.3. INTERVENTI PREDIBILI PER OPERE DI TIPO ATTIVO E PASSIVO

In genere, l'attività di manutenzione consta in una sorveglianza programmata a priori delle opere e dei componenti (rilevamenti strutturali), da cui potrà scaturire la necessità di operazioni mirate, di tipo straordinario (ripristini, rappezamenti o sostituzioni). Per opere di tipo passivo, installate con lo scopo di intercettare, arrestare, deviare blocchi rocciosi in movimento, la manutenzione deve tenere conto di un contesto naturale "in divenire" soggetto ad ampie mutazioni nel corso della vita utile dell'opera. Nella fattispecie, dovrà essere posta un'attenzione particolare alla valutazione della presenza di materiale detritico eventualmente depositato, determinandone volume e azioni sull'opera di ritenuta. In caso di eventi franosi, dev'essere stimato attentamente lo stato dell'opera, non prima di avere valutato globalmente

le cause dell'evento e le variazioni delle condizioni al contorno che ne possono derivare.

In via indicativa e non esaustiva, per reti e legature si dovrà:

- verificare visivamente lo stato superficiale di pannelli in fune, reti e funi metalliche (ossidazione, usura e rottura di fili e/o trefoli, presenza di deformazioni, ammaloramento dovuto a incendi, impatti, ecc.);
- verificare la tesatura delle funi, lo stato dei morsetti e le coppie di serraggio;
- verificare superficialmente lo stato degli ancoraggi di contorno ed eventualmente intermedi, constatandone eventuali cedimenti;
- verificare in superficie lo stato di golfare e piastre di ripartizione e, in corrispondenza di queste, l'eventuale rottura per punzonamento;
- verificare attentamente accumuli di detrito sul versante e sacche al piede valutandone l'azione sulla tenuta globale o locale del rivestimento e – nel caso – svuotare e ripristinare le condizioni iniziali di aderenza;
- verificare lo stato delle legature della rete e dei pannelli in fune.

Per chiodi, bulloni e tiranti si dovrà (per quanto fuori terra):

- verificare visivamente lo stato superficiale, anche di dadi e piastre di ripartizione;
 - verificare eventuali cedimenti;
- Per contrafforti e sottomurazioni si dovrà:
- verificare lo stato delle superfici visibili;
 - se possibile, valutare lo stato dell'opera in relazione alle azioni di progetto.

Per gallerie artificiali:

- in caso di arresto di grossi massi, si dovrà liberare il masso e ripristinare lo spessore originario dello strato smorzatore;
- in caso di depositi detritici, si dovrà ripristinare la sagoma iniziale di progetto;
- in caso di otturazione dei manufatti di scarico delle acque, ristabilirne la funzionalità.

Per barriere paramassi (elastoplastiche o rigide) si dovrà :

- verificare visivamente e manualmente gli ancoraggi delle opere e i sistemi fondazionali;
- verificare visivamente lo stato superficiale di reti, pannelli in fune e funi metalliche (ossidazione, usura e rottura di fili e/o trefoli, presenza di deformazioni, ammaloramento dovuto a incendi, ecc.), e la persistenza dello stato di tensionamento funzionale per effetto di pregresso allentamento delle tratte, rilasci, ecc.;
- verificare lo stato di conservazione (verniciatura, arrugginimento, condizione di eventuali saldature, ecc.) dei montanti e dei fazzoletti;

- verificare la funzionalità dei giunti mono e bi-direzionali, qualora presenti.
- controllare lo stato di conservazione e di funzionalità di tutti gli elementi metallici e dei dispositivi (morsetti, dissipatori d'energia, viti, bulloni, redance, golfare, piastre, ecc.). Se necessario, verificare le coppie di serraggio e il corretto posizionamento dei morsetti sulle funi; valutare l'efficienza e l'eventuale riduzione dell'energia assorbibile dei dissipatori di energia, nonché verificare tutte le connessioni con le funi;
- nel caso di deposito di materiale detritico o di evento franoso, determinare volume e azioni sull'opera di ritenuta, misurare le deformazioni della superficie di intercettazione rispetto alla configurazione iniziale, valutare la necessità dell'asportazione del materiale e, nel caso, ripristinare la geometria iniziale.

Dalle operazioni di verifica potrà scaturire la necessità di operazioni mirate, in genere di tipo straordinario (ripristini, rappezzamenti, riverniciatura di parti ossidate, sostituzioni di elementi e dispositivi).

3. OPERE DI PROTEZIONE LUNGO LA S.R. 249 "GARDESANA ORIENTALE"

Nel tratto compreso tra le gallerie del Cantone e di Val Marza lungo la s.r. 249 "Gardesana Orientale", le pendici occidentali del monte Altissimo di Nago, sovrastanti il lago di Garda, sono costituite da una successione

regolare di strati calcarei e subordinati calcareo-dolomiti databili al Giurassico Inferiore, aventi potenza variabile tra i 30 e 100 cm. Per larga parte, la roccia in posto è ricoperta da detrito di frana e di falda in forma di pe-traie, inglobanti reperti ciclopici, e da una diffusa coltre eluviale ghiaiosa grossolana derivata dal disfacimento superficiale del substrato roccioso, su cui si è instaurato l'humus che dà vita al cespugliame e al ceduo allignante al suolo.

Il complesso degli strati presenta una costante inclinazione di circa 45° verso valle ed è interessata da due sistemi di frattura principali; il primo disposto secondo una direzione NNW-SSE pressoché parallelo alla sede stradale e il secondo concordemente ad una direzione WSW-ENE trasversale al pendio, tra di essi circa ortogonali e tali da scomporre le rocce in prismi parallelepipedi, aventi pezzatura sino a qualche decina di m³.

Il versante in esame presenta una generale morfologia piuttosto omogenea, con pendenze intorno ai 45° concordemente all'andamento dei partimenti calcarei; la monotonia di forme è interrotta da pareti verticali, alte anche decine di metri con direzione sia grossomodo normale quanto all'incirca parallela all'asse viario, che si è riconosciuto rappresentare le tracce dei maggiori elementi disgiuntivi locali, alcuni dei quali risultano manifestamente collegati tra loro a formare inconfondibili nicchie di distacco.



Figura 1 – Tratto di interesse con galleria paramassi artificiale tra le progr. km 89+550 e 90+900.

I movimenti franosi, storici ed attuali verificatisi o meno in un unico evento, avvengono per scivolamento lungo le superfici di strato e coinvolgono, talora, anche parti degli strati sottostanti; per questo motivo, attualmente, le superfici di scivolamento non appaiono quasi mai continue, ma risultano interrotte da gradini, nei quali sono ri-conoscibili testate di frane di modesta entità nel contesto dei macroscopici movimenti sopra ricordati, visibili a varie quote; negli stessi gradoni si individuano placche rocciose formate da un singolo strato e da pacchi di strato disposti a piramide (reperibili, ad esempio intorno alla isoipsa 180 e tra le progressive km 89+800÷90+100), prive di qualsiasi legame lungo il loro perimetro; in questi casi il loro temporaneo mancato scivolamento è ascrivibile - come testimoniano le risultanze geomeccaniche delle indagini locali - unicamente ai vincoli offerti dalle scabrosità delle superfici di stratificazione.

La facile disgregabilità e la carente compattezza d'insieme dei calcari costituenti l'ossatura dei luoghi hanno fatto sì che i versanti incombenenti lungo la strada - per effetto

dell'azione continua degli agenti atmosferici e delle forze modellatrici dei rilievi - fossero zone caratterizzate da incerte condizioni di stabilità e sedi di eventi franosi più o meno intensi e massivi per scivolamento, conseguenti alla disposizione a franapoggio degli strati, instabilità incentivate dalla riduzione della spinta passiva prima esercitata dai volumi litici asportati con gli sbancamenti, immediatamente al di sopra della sede stradale.

Sono state vagliate le opportunità d'intervento, mutevoli per tipologia e forma nell'ottica di adeguarsi ad una loro adozione tecnicamente valida; a tal fine, a protezione dell'utenza, sono state adottate le seguenti opere:

- una serie praticamente continua di gallerie paramassi comprese tra i km 89+550 e 90+900, dando così continuità ai cavi naturali lungo la s.r. 249 (v. fig. 1).
- strutture di bloccaggio e contenimento puntuali rappresentate da barbacani e sottomurazioni;
- reti, rivestimenti corticali e tiranti passivi distribuiti razionalmente lungo i pendii;
- barriere paramassi ad elevata dissipazione di energia per un totale di 10.350 m² (fig. 2);

- adozione di un sistema di monitoraggio elettronico tale da consentire congruo sistema di avvertimento dalle eventuali mobilitazioni massive, in quei settori ove l'acclività, le insormontabili difficoltà morfologiche o le abnormi volumetrie in potenziale mobilitazione non consentivano gli interventi di consolidamento sopra accennati.

4. SISTEMA DI MONITORAGGIO

4.1 DESCRIZIONE

Il sistema è posto sulla s.r. n. 249 "Gardesana Orientale" tra il km 89+600 e il km 91+650, a controllo di eventuali mobilitazioni di masse ciclopiche, il cui potenziale scivolamento e/o ribaltamento non potrebbe trovare valido contenimento, nemmeno nello smorzamento lungo la galleria paramassi artificiale. La prima installazione è stata eseguita nel 1976, con tecnologie per l'epoca già molto avanzate e completamente innovative, poi integralmente rinnovate con nuova strumentazione nel 1992 e successivamente adeguate nel 1997 e 2001, con nuovi sistemi operativi e più affidabili sistemi di connessione remota. Grazie alla continua gestione e manutenzione di questo complesso di interventi che garantiscono un elevato grado di efficienza, quello di Malcesine si può qualificare come il più longevo sistema remoto di monitoraggio da caduta massi attivo al mondo.

Preso atto dell'ampiezza dell'area da porre sotto monitoraggio strumentale e identificate le zone potenzialmente franose, l'attuale configurazione del sistema di monitoring automatico e continuo CLIOS prevede un totale di 38 trasduttori di posizione, teste termometriche ed inclinometriche gestiti da 5 unità di acquisizione periferiche (PWM) differenti, le quali fanno capo ad un unico computer di acquisizione e trasmissione dati (PAN), posto all'ingresso della Galleria del Canton. La trasmissione, la configurazione e la gestione dei canali analogici relativi alla strumentazione avviene tramite comunicazione con modem



Figura 2 – Barriera paramassi IPER-EL.



Figura 3 – Le 5 zone che compongono il sistema di monitoraggio e sinottico zona 5.

e modulo cellulare GSM nei Centri di Elaborazione Dati (C.E.D.) autorizzati.

Ciascuna unità periferica di acquisizione CLIOS PWM a servizio delle 5 zone è dotata di 12 ingressi digitali e 12 analogici a 12 bit, campo di misura 0-5 V o 4-20 mA, scheda interfaccia per sensori, modem per la trasmissione dati a 1200 baud verso il PAN. Il cablaggio è in contenitore stagno, a grado di protezione IP 65, dotato di coperchio protettivo da eventuali cadute sassi e ancorato alla parete rocciosa tramite amarrì e rowl-bolts di bloccaggio. L'alimentazione è garantita in continuo da linea elettrica conduttrice, stesa nel 1992 per un totale di ca. 8.000 m, con gruppo comprensivo di un sistema tampone, formato da 2 batterie ermetiche; fa eccezione la "zona 1", la quale dal 2004 è alimentata con pannello fotovoltaico per problematiche di caduta massi sulla linea elettrica afferente.

Negli anni di funzionamento l'utilità del sistema di monitoraggio è stata più volte manifestata, ad esempio nel preavvertimento di una fase cinematica interessante una massa di qualche decina di migliaia di metri cubi a una quota di ca. 280 m s.l.m. e consistente in un subitaneo scivolamento di ca. 3 cm verso valle e una rotazione di ca. 6°, per cui si è re-so necessario il contenimento in loco per mezzo di un grosso cordolo in cls tirantato.

4.2 ATTIVITÀ DI GESTIONE E MANUTENZIONE

L'attività di gestione e manutenzione dell'impianto di monitoraggio è codificata tramite un piano di monitoraggio schematizzato nella fig. 4. La gestione, pertanto, si attua da remoto con le fasi di prelievo, elaborazione, graficizzazione e responsabile analisi giornaliera dei dati scaricati; confronto con i precedenti dati di archivio ed interpretazione dei trend ri-levati per prendere atto di possibili fasi anomale ed eventuali sintomi di collasso e/o mobilitazione delle masse litiche poste sotto controllo; rilevamento di eventuali anomalie dei dati strumentali e loro interpretazione; archiviazione dei dati su memoria virtuale e su supporto magnetico; elaborazione di grafici evolutivi del comportamento degli ammassi posti sotto controllo. Con cadenza periodica, viene redatto un report riassuntivo dei dati rilevati, con analisi e relative conclusioni sui trend di evoluzione cinematica degli ammassi monitorati; tale rapporto viene emesso in forma straordinaria in presenza di fasi anomale da segnalare o in seguito ad eventi sismici o eventi piovosi di eccezionale persistenza e/o intensità, per cui è necessaria un'attenta analisi delle ripercussioni sui trend strumentali.

A questo proposito, si vuole segnalare come in seguito all'evento sismico del 24.11.2004, con epicentro a Salò (BS), si è potuto constatare che l'unica massa a risentire

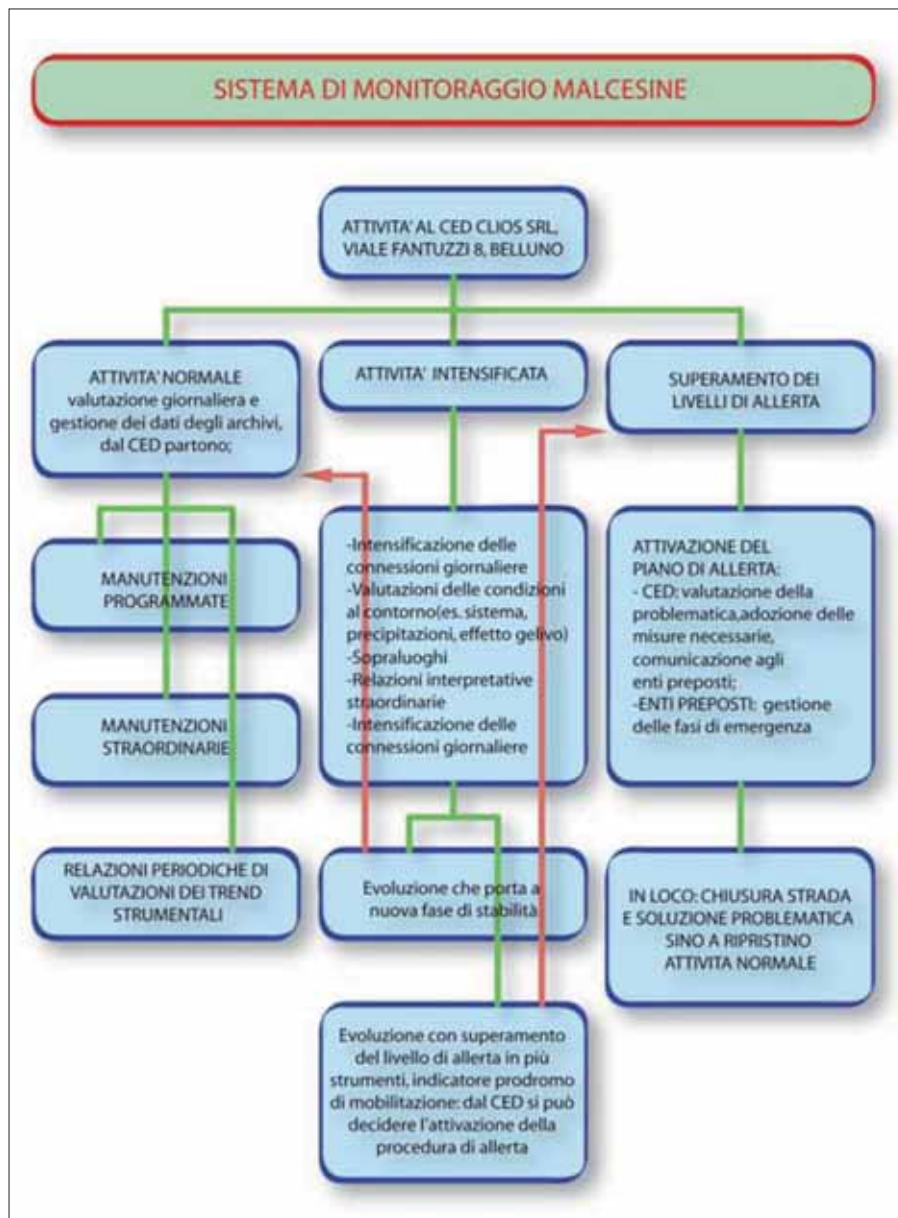


Figura 4 – Piano di monitoraggio in schema a blocchi.

- pur in misura percettibile solo grazie all'elevata sensibilità dello strumento (si veda la fig. 5: 0,24 mm alle ore 23.59 del 24.11.2004)
- è stata una porzione di ca. 80 m³, di volume molto più contenuto rispetto alla totalità delle altre masse monitorate le quali, di contro, hanno manifestato una completa indifferenza alla scossa. Parimenti, in seguito agli eventi pio-vosi di eccezionale intensità e durata che hanno interessato il Nord Italia ed anche il

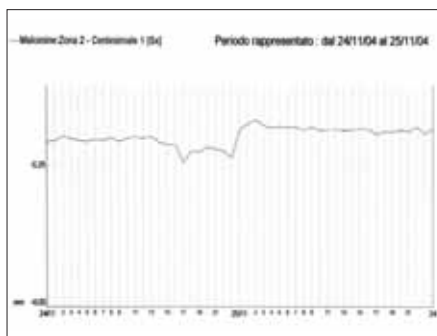


Figura 5 – Grafico del trasduttore n. 1 in "Zona 2", con sketch in seguito all'evento sismico.

bacino in esame, a partire dalla fine di ottobre e nei mesi di novembre del 2010 (con una recrudescenza verso la fine di dicembre), si è potuto constatare solo per masse dotate di inerzia relativamente modesta una risposta correlabile agli eventi di pioggia, con sketch strumentali abbastanza evidenti per quanto limitati, mentre, per la quasi totalità dei blocchi tenuti sotto controllo, si è potuto rilevare come l'aumento del carico idrico nei periodi di maggiore piovosità non ne ha influenzato il comportamento geomeccanico.

A completamento e integrazione delle attività al C.E.D, vengono eseguite periodiche operazioni di manutenzione programmata per il controllo locale della strumentazione, per la rilevazione di eventuali anomalie, per il controllo delle tensioni delle batterie tampone e l'eventuale sostituzione, o per periodica verifica e pulizia delle schede elettroniche e dei componenti meccanici.

In seguito a anomalie rilevate dal C.E.D., vengono infine attivati sopralluoghi di veri-

Tab. 1 – Ubicazione delle barriere paramassi

Progressive [km]	Quota [m s.l.m.]	N. tratte	Lunghezza totale [m]	Altezza [m]	Superficie [m ²]
57+900÷58+180	90	5	245	5	1.225
86+280÷86+500	100	4	225	5	1.125
86+280÷87+210	120/150	21	945	5	4.725
86+720÷87+210	100	11	490	5	2.450
87+030÷87+195	100	4	165	5	825
TOTALE		45	m 2.070	5	m² 10.350

fica, controllo ed eventuale riparazione e/o ripristino delle attrezzature.

5. OPERE DI DIFESA DA CADUTA MASSI

A protezione da mobilitazioni litiche lungo la ex s.s. n. 249, nell'anno 1991 sono state installate più linee di barriere paramassi ad elevata dissipazione energetica (> 2000 kJ) tipo IPER-EL a montanti protetti anche in più ordini, in singole tratte di lunghezza compresa tra i 30 e i 60 m, aventi altezza h=5.0.

In esercizio, le barriere paramassi sono state interessate da eventi di varia entità,

paramassi esistenti, al fine di valutare il grado di efficienza, avviare una organica ed efficace manutenzione ordinaria e una mirata manutenzione straordinaria, qualora necessaria.

L'assenza di strumenti codificati in grado di agevolare il tecnico in tali operazioni e la necessità di uniformare i criteri di valutazione sulle priorità di intervento e sui capitoli di spesa necessari, ha spinto CLIOS alla messa a punto di un servizio strutturato dedicato alla manutenzione di opere paramassi già installate e alla gestione di piani di manutenzione di nuove installazioni.



Figura 6 – Masso ciclopeo trattenuto dalla IPER-EL.

anche pari o superiori al limite energetico certificato (Fig. 6).

Nel corso dell'anno 2010, Veneto Strade SpA ha attivato un intervento sulle barriere

Questo sistema, applicato in generale per barriere paramassi, reti, rivestimenti corti-cali e legature può essere suddiviso in due fasi: una prima, di censimento di tutti i

componenti strutturali, di ispezione visiva e di manutenzione ordinaria locale; una seconda fase, di elaborazione e restituzione dei dati risultanti dalla precedente, integrata e completata dall'applicazione di un software di calcolo dedicato, denominato **E.M.RA.-Efficiency Mean RAtio**, implementato per fornire una valutazione omogenea del grado di efficienza residuo e la stima dei costi di ripristino, da sostenere in una successiva fase di manutenzione straordinaria, pertanto mirata ed economicamente meno onerosa per l'utente.

Per la particolare struttura paramassi in esame, la prima fase ha incluso:

- ispezione visiva, rilevamento di cadute massi;
- controllo e verifica degli ancoraggi di monte, valle e laterali e delle connessioni con la struttura, nonché controllo ed eventuale rabbocco dei fori di iniezione;
- verifica dello stato di conservazione e della funzionalità dei giunti cardanici, pulizia ed eventuale ingrassaggio;
- verifica del serraggio dei morsetti delle funi orizzontali e delle controventature di monte e di valle, con sostituzione di morsetti ammalorati o risultati inefficienti;
- verifica dello stato di conservazione dei dissipatori di energia e segnalazione di eventuali anomalie;
- controllo tensioni delle funi ed eventuale ritensionamento;
- controllo deformazione della struttura per carichi permanenti (peso proprio) ed accidentali (detrito, blocchi, piante) ed eventuale ritensionamento;
- controllo e verifica delle connessioni tra i pannelli di rete ad anelli e la fune sommitale e tra i vari pannelli di rete con aggiunta, ove necessario, di cavo e di morsetti;
- segnalazione delle parti danneggiate in maniera irreparabile;
- georeferenziazione con ausilio di ricevitore GPS;
- documentazione fotografica;
- compilazione scheda di manutenzione riassuntiva preliminare e rilevamento dei parametri di input necessari per l'applicazione del software E.M.RA.

Tabella 2 – Esempio di output di applicazione del software E.M.R.A.

Barriere tipo: IPER-EL Gardesana orientale anteintervento														
Tratta	Progressiva	Dati GPS			E [kJ]	H [m]	L [m]	Campate [n.]	i nominale [m]	Montanti [n.]	Superficie [m ²]	Efficienza indicativa residua	Priorità	Costo intervento ripristino
1	n. 1 01 data 14 12 10	1 01 S 1 01 D	N 45 47 50,5 N 45 47 49,4	E 10 50 17,8 E 10 50 16,8	2000	5	45,00	9	5,0	10	225,00	85%	Bassa	Basso
	n. 1 02 data 14 12 10	1 02 D 1 02 S	N 45 47 49,4 N 45 47 48,3	E 10 50 16,2 E 10 50 15,2	2000	5	50,00	10	5,0	11	250,00	30%	Urgente!	Medio
	n. 1 03 data 15 12 10	1 03 D 1 03 S	N 45 47 48,3 N 45 47 46,7	E 10 50 15,4 E 10 50 14,4	2000	5	50,00	10	5,0	11	250,00	89%	Bassa	Basso
	n. 1 04 data 15 12 10	1 04 D 1 04 S	N 45 47 47,2 N 45 47 45,8	E 10 50 14,3 E 10 50 13,5	2000	5	50,00	10	5,0	11	250,00	72%	Media	Basso
	n. 1 05 data 21 12 10	1 05 D 1 05 S	N 45 47 45,9 N 45 47 44,5	E 10 50 13,2 E 10 50 12,0	2000	5	40,00	8	5,0	9	200,00	90%	Nessuna	Basso
					TOTALE 235,00						TOTALE 1.175,00			

SCHEDA DI MANUTENZIONE ORDINARIA BARRIERE PARAMASSI



Strada:	S.R. 249 "Gardesana Orientale"
Progressiva chilometrica:	86+280÷87+210
Quota:	ca. 115 m s.l.m.
Paramassi n.:	<u>1-04</u>
Lunghezza:	48 m
altezza:	5 m
Rif. Tav. n.:	Allegato 1
Rif. fotografico:	nel CD-ROM allegato Manutenzione1fase\1 04
CD-ROM allegato	
Data:	15/12/2010

INTERVENTI

- Controllo visivo generale della barriera e particolare per ogni sua singola componente (montanti, struttura di fondazione, giunti cardanici, controventature, funi longitudinali, fune di cucitura, sistemi ammortizzanti, morsetti, morsetti fissi-scorrevoli, rete primaria e secondaria, ancoraggi);
- Installazione di morsetti di collegamento tra la fune sommitale e la rete primaria in ragione di n. 3 per campata;
- Pulizia della struttura di fondazione;
- Pulizia dalla vegetazione nei tratti in cui non rendeva possibile effettuare il controllo visivo;
- Controllo del tensionamento delle controventature;
- Controllo della coppia di serraggio dei morsetti, dei morsetti fissi-scorrevoli e dei sistemi ammortizzanti con chiave dinamometrica e chiusura degli stessi in caso di riscontrata anomalia;
- Prova di rottura a campione dei morsetti con maggior segno di ossidazione (anche con coppie di serraggio pari a circa 3 volte quella di esercizio non si è verificata la rottura dei morsetti, ndr);
- Georeferenziazione della tratta in esame per mezzo di tecnologia GPS.

ANOMALIE GRAVI RISCONTRATE

- n.1 allentamento, per peso proprio della struttura, di 1 04-cont. 11v prima controventatura di valle destra (ripristino effettuato sostituendo la controventatura con una nuova).
- Gli elementi che fanno discostare l'efficienza iniziale da quella risultante dall'applicazione del software prima e dopo gli interventi di manutenzione ordinaria sono la presenza di vegetazione e di diffusa ossidazione superficiale.

NOTE

- La controventatura di valle sostituita verrà sottoposta a test meccanici di laboratorio, per valutarne le caratteristiche tecniche e compararle con quelle di un elemento nuovo.

La seconda fase di rielaborazione dei dati e delle informazioni ha compreso:

- La redazione di relazione di esito con documentazione fotografica e restituzione cartografica in scala adeguata, che automaticamente viene qualificato come piano di manutenzione per le barriere paramassi investigate;
- compilazione di scheda di manutenzione finale (vedi figura 7);
- applicazione del software E.M.RA con scheda riassuntiva di output: indicazione dell'efficienza prestazionale ante e post-intervento, della priorità e del costo indicativo di un eventuale intervento di ripristino, come da prospetto (Tab. 2).

Pur essendo passato molto tempo dall'installazione, le barriere investigate hanno evidenziato una soddisfacente efficienza residua, in ogni caso aumentata dagli interventi di manutenzione ordinaria eseguiti; sono stati ordinati altresì test di trazione certificati sulle funi utilizzate, al fine di dimostrare il mantenimento delle resistenze richieste; in più del 95% dei casi i morsetti sono risultati adeguatamente serrati senza allentamenti. Le efficienze minori sono state restituite per le tratte interessate da eventi franosi (fig. 6) e poi ripristinate utilizzando rete tipo parasiluri ed elementi plasticizzati dagli urti, elemento che il software E.M.RA. riconosce come negativo.

6. CONCLUSIONI

È difficile investire in manutenzione in un particolare settore in cui è ben presente la mancanza generale di risorse economiche. Ma proprio per questo, attraverso un'efficace gestione delle tecnologie installate, la pianificazione delle più opportune strategie e l'adozione di adeguati e innovativi strumenti per il censimento e la valorizzazione del patrimonio esistente e per la gestione di nuove opere, si possono programmare interventi manutentivi mirati ed ottenere anche elevate economie di scala.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano il dott. ing. Ivano Zattoni e il geom. Claudio Zaniboni di Veneto Strade SpA.

INTRODUZIONE

Il bosco esercita un'azione fondamentale di difesa del suolo dall'erosione ed una regimazione della circolazione idrica. L'eccessivo sfruttamento della foresta, con la scomparsa di vari lembi di copertura vegetale, portò e porta una riduzione, se non a una scomparsa, di una funzione principale del bosco, che è quella idrogeologica.

È consequenziale che tale fatto abbia causato un aumento dei dissesti al sopraggiungere delle avversità naturali che caratterizzano e che frequentemente interessano il nostro territorio. In Italia la superficie forestale è circa 10 milioni di ettari (34,74% del territorio nazionale), di cui 6,5 milioni di ettari sono costituiti da boschi veri e propri, nello specifico circa il 30% da boschi ad alto fusto (6).

LA FUNZIONE DELLE FORESTE

La copertura vegetale degli alberi svolge un ruolo fondamentale nella protezione del suolo, ostacolando i processi di mobilizzazione del terreno dovuti all'acqua, al vento e ad altri processi erosivi. L'area boschiva, soprattutto quando la copertura vegetale è continua, svolge due azioni principali: una *regimante* ed una *antierosiva*. La prima consiste nella capacità di ridurre il ruscellamento superficiale, in quanto la vegetazione limita lo scorrimento dell'acqua sul terreno, attraverso l'intercettazione delle precipitazioni da

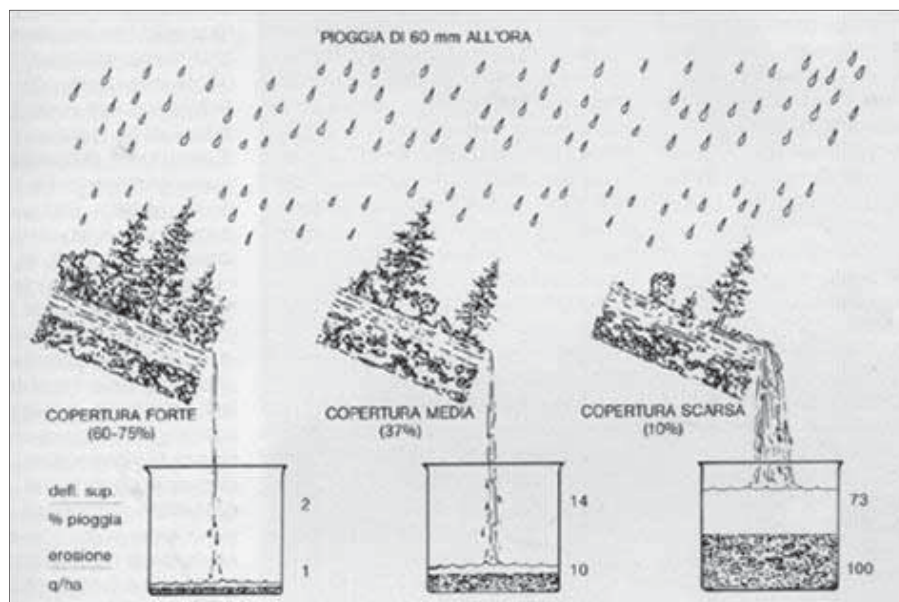


Figura 2 – La scarsa copertura vegetale, comporta una riduzione dell'intercettazione delle piogge, con conseguente aumento del ruscellamento.

parte delle foglie e frenando la velocità delle gocce d'acqua (Fig. 1), il tutto relazionato, ovviamente, alle precipitazioni: per piogge cosiddette deboli (20-30 mm), l'intercettazione è dell'ordine del 10-15%, mentre per piogge aventi altezza dell'ordine dei 50 mm, l'intercettazione si riduce a qualche unità percentuale (11).

Questa azione è molto importante considerando il fatto che un bosco può arrivare a intercettare circa il 30-40% delle precipita-

zioni annue (Fig. 2). La funzione *antierosiva* viene svolta, invece, attraverso un'azione frenante nei confronti dell'acqua di scorrimento superficiale che, durante il suo percorso, incontra degli ostacoli, perdendo velocità e, quindi, diminuendo il suo potere erosivo. La vegetazione, soprattutto quella ad alto fusto, impedisce anche i fenomeni di erosione dovuti al vento, la cui velocità viene ridotta circa del 30% grazie all'intervento di un frangivento arboreo, fino ad una distanza approssimativamente pari a dieci volte l'altezza degli alberi (11).

Tutte queste funzioni, con l'aggiunta dell'azione *stabilizzante* dovuta alle radici, risultano dei contributi fondamentali a rendere stabili i pendii. In un pendio in equilibrio, ossia in condizioni di stabilità, la mancanza improvvisa di gran parte della copertura vegetale aumenta la potenziale instabilità in quanto, il terreno non gode più della protezione che veniva fornita dalla presenza degli alberi, aumentandone il rischio di cedimento. Infatti, analizzando l'espressione del ciclo idrologico: $P=D+ET+I$ in cui P = precipitazioni; D = deflusso superficiale; ET = evapotraspirazione; I = infiltrazione nel sottosuolo, si evince che in assenza di copertura vegetale, l'evapotraspirazione e l'infiltrazione nel sottosuolo risulter-

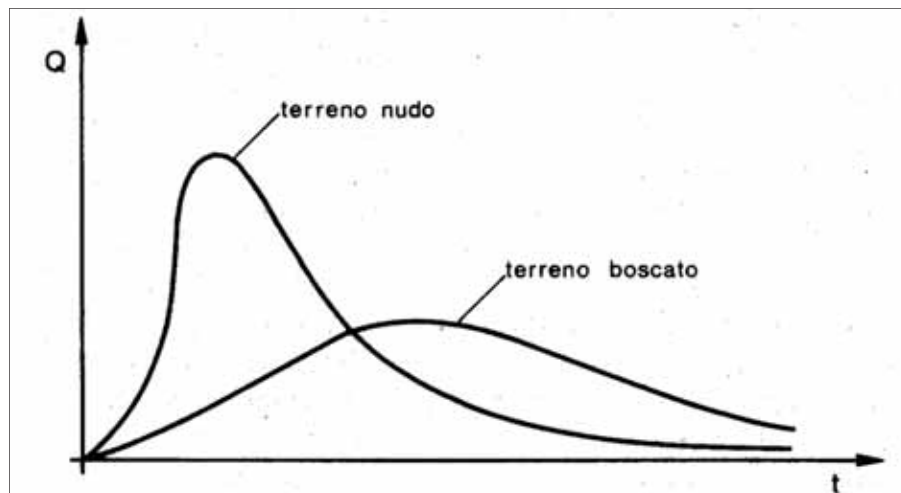


Figura 1 – In un terreno nudo, in funzione del tempo, il ruscellamento risulta essere superiore, non essendo limitato e ridotto dalla presenza di vegetazione.

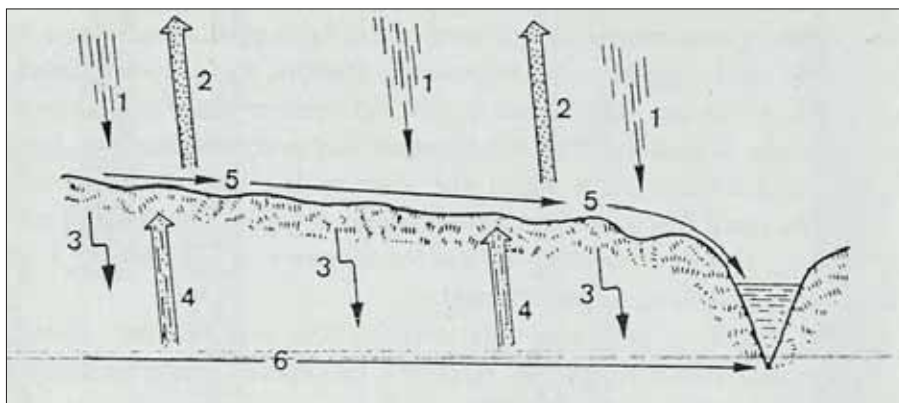


Figura 3 – Schema generale del bilancio idrologico: 1. precipitazioni; 2. evaporazione; 3. infiltrazione; 4. risalita capillare; 5. deflusso superficiale; 6. deflusso sotterraneo.

rebbero notevolmente ridimensionati, a fronte di un'azione predominante del ruscellamento, che comporterebbe un incremento dei fenomeni di dissesto (Fig. 3).

GLI INCENDI BOSCHIVI

In Italia ogni anno sono incalcolabili i danni arrecati dagli incendi boschivi al patrimonio forestale ed ambientale ed è enorme il pericolo per l'incolumità pubblica. Ferite profonde causate per il 98% dall'uomo, per

elevate temperature accompagnate da bassa umidità relativa e da elevata ventosità, si determina lo sviluppo di grandi incendi con notevoli difficoltà nelle operazioni di spegnimento.

Queste condizioni si sono verificate anche nel corso del periodo estivo del 2009, specialmente in Sardegna, e più limitatamente in Sicilia, Puglia, Campania, Toscana e Calabria, dove si sono registrati incendi di particolare intensità, vastità e durata.

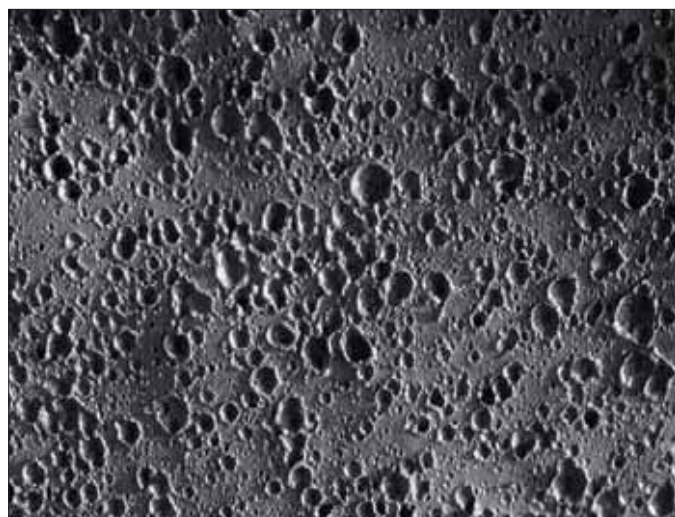


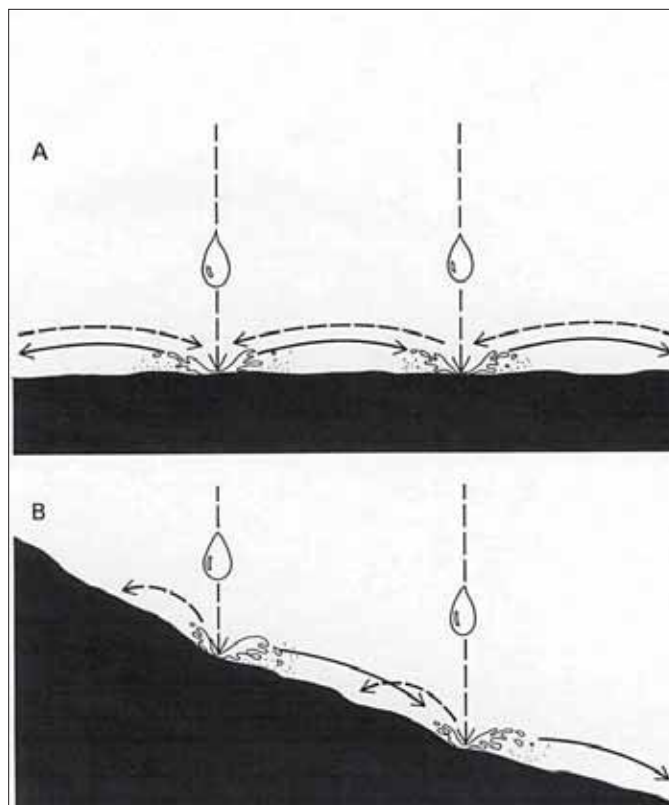
Figura 4 – Esempio di impatto delle gocce d'acqua sul suolo, dovuti a splash erosion.

imprudenza o mancato rispetto delle norme e, soprattutto, per speculazioni legate alla ricerca di un illecito profitto. Se i fattori predisponenti (vento, piogge, temperatura, umidità, vegetazione secca) possono favorire gli incendi boschivi, le cause determinanti (colpose e dolose) sono la causa diretta dei roghi. Senza l'innesco provocato, nella quasi totalità dei casi, dall'uomo, l'incendio non ha inizio (4).

Tuttavia periodicamente si assiste ad una recrudescenza del fenomeno degli incendi in relazione agli andamenti climatici che possono risultare favorevoli all'aumento del carico di combustibile.

In particolare, in coincidenza di inverni miti e scarsamente piovosi e di mesi estivi caratterizzati da ripetute ondate di calore con

Figura 5 – Andamento dello splash erosion in funzione della pendenza del terreno interessato da tale fenomeno.



Il confronto dei dati statistici, pur se rappresentato con riferimento al primo semestre 2010 in termini assolutamente di stima e pertanto provvisori, relativi al periodo 1 gennaio-31 maggio 2010 con quelli riferiti ad analogo periodo dell'anno precedente, evidenzia una netta riduzione del numero degli eventi (pari al 60%) e del totale delle superfici colpite dal fenomeno degli incendi boschivi (60% in meno rispetto all'anno precedente).

I FENOMENI DI DISSESTO CAUSATI DAGLI INCENDI BOSCHIVI

Nelle aree boschive percorse da incendi, sono evidenti le problematiche di dissesto idrogeologico indotte dal passaggio del fuoco. Dall'esame della letteratura di settore, si individuano i fattori, precedentemente esposti, determinanti la propensione al dissesto, che consentono di individuare l'entità dei problemi indotti dagli incendi boschivi (10):

- erosione superficiale con perdita di suolo fertile;
- alterazioni chimico-fisiche dei suoli;
- diminuzione della capacità di infiltrazione;
- riduzione dei tempi di corruzione ed accelerazione dell'erosione incanalata.

I primi due casi sono strettamente di tipo geopedologico, riscontrabili nel breve periodo, considerando che le perdite di suolo avvengono circa nei due mesi successivi l'evento incendiario. Gli altri impatti interessano specificatamente la tematica del dissesto idrogeologico, risultando evidenti nel medio-lungo periodo. Tutte le criticità descritte risultano, ovviamente, correlate tra loro e concorrono globalmente nell'innescare fenomenologie

di criticità idrologica ed idrogeologica, quali effetti del fenomeno incendiario.

I processi di danno idrogeologico hanno inizio in presenza di temperature che alterano le caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, con valori termici di circa 170°C per incendi di residui di vegetazione erbacea (stoppie o erbe alte), fino a valori prossimi a 850°C negli incendi boschivi. A tali temperature, le alterazioni dei suoli risultano molto importanti e

significative in quanto, in tali condizioni, si forma uno strato idrorepellente, costituito da sostanza organica migrata verso il basso dopo un processo di pirolisi (10). Tale strato sub superficiale determina condizioni di maggiore ritenzione idrica sul sottile strato sovrastante che, in presenza di piogge, è facilmente soggetto ad erosione accelerata. Anche le caratteristiche fisiche dei suoli vengono profondamente alterate in quanto, il suolo subisce una riduzione di porosità e perde coesione, favorendo, in definitiva, le condizioni di erosione del suolo stesso. Dal punto di vista chimico, pur constatando che l'incendio, nel breve periodo, favorisce la solubilità e l'assimilabilità, da parte del suolo, di elementi inorganici, aumentandone la fertilità, occorre sottolineare che tali elementi sono molto più facilmente erodibili con le prime piogge, non essendo più presenti sotto forma di composti organici legati al suolo e difficilmente asportabili con le piogge, condizione che caratterizza la fase pre-incendiaria. In caso di asportazione della copertura vegetale, i suoli vengono esposti al complesso di fasi dell'azione erosiva dell'acqua:

- *splash erosion*: erosione indotta dall'impatto delle gocce sul suolo, determinando la disgregazione del suolo stesso, la fluidificazione della componente humifera ed occlusione dei pori (Fig. 4 e 5);
- *sheet erosion*: fenomeno erosivo laminare tipico di terreni a bassa pendenza (Fig. 6);
- *rill erosion e gully erosion*: erosione in rivoli, fossi o burroni tipica di terreni a media e forte pendenza (Figg. 7 e 8).



Figura 6 – Esempio di erosione laminare (*sheet erosion*) su terreno a scarsa pendenza.

volte della normale asportazione. La ridotta capacità di infiltrazione, come precedentemente esposto, risulta essere un problema su cui porre attenzione, sia per la ridotta o nulla attività di veicolazione dell'acqua nel suolo ad opera dell'apparato radicale, sia per la minore porosità del suolo stesso, sia per la formazione durante l'evento incendiario, di livelli "idrofobici" dovuti all'esposizione di sostanze idrorepellenti, come già ricordato. Il calore prodotto da un incendio boschivo può far diminuire, per un breve lasso temporale, anche di circa 80 volte la normale capacità di infiltrazione. Staticamente, in termini stagionali, l'erosione del suolo di maggiore consistenza, avviene nei mesi immediata-

tenendo unite le varie particelle minerali, si oppone alle azioni disgregatrici degli agenti erosivi (Fig. 9). Le frazioni a più basso peso molecolare e più volatili, in seguito al suddetto processo di pirolisi causato dal passaggio del fuoco, evaporano, si disperdono in aria eventualmente incendiandosi a loro volta, non rientrando più tra gli elementi costituenti del terreno. Diversamente, le frazioni più pesanti vengono fluidificate, distillano e migrano lungo il profilo del terreno in cui, per effetto dell'elevata temperatura, si è venuto a localizzare un gradiente termico che favorirà il deposito di tali porzioni pesanti solo quando incontreranno strati più freddi, lontano dalla superficie e dal suolo riscaldato dal fuoco.



Figure 7 e 8 – Esempi di erosione in rivoli, fossi o burroni, su terreni a media-elevata pendenza (*rill erosion e gully erosion*).

La quantità di suolo erosa annualmente risulta influenzata dall'intensità dell'aggressione del fuoco sul bosco ma, in relazione all'estensione dell'area verde interessata, il suolo asportato dal passaggio di un incendio particolarmente devastante, può essere anche circa 35 volte superiore all'erosione normale, mentre un incendio leggero e contenuto implica un'erosione maggiore di circa 5

mente successivi all'incendio, soprattutto in corrispondenza delle prime piogge autunnali successive all'incendio estivo. Approfondendo le caratteristiche del suolo ed analizzandone dettagliatamente le fasi di disgregazione, in seguito al passaggio del fuoco, si evince che in fase pre-incendiaria il suolo presenta una sorta di cemento (strato superficiale di sostanza organica) che,

Studi di laboratorio hanno evidenziato che le sostanze organiche originate dal processo di pirolisi dei materiali vegetali, risultano essere altamente idrorepellenti. Dopo il passaggio del fuoco, lo strato superficiale risulta essere impoverito di sostanza organica, risulta meno cementato e le sostanze organiche residue, idrocarburi alifatici a lunga catena e residui catramosi, si depositano nell'orizzonte sotto-

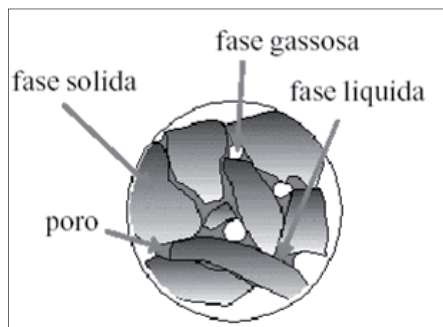


Figura 9 – Nella fase pre-incendiaria, il suolo presenta, oltre a porzioni solide, liquide e gassose, anche una sorta di matrice cementizia che, tenendo unite le varie particelle minerali, si oppone alle azioni disagregatrici degli agenti erosivi.



Figura 11 – Ciò che rimane nel suolo interessato dal fenomeno incendiario, è costituito in gran parte da radici dissecate e mescolate a residui carboniosi della lettiera e della vegetazione erbacea, arbustiva ed in parte arborea soprastante.

stante, costituendo un vero e proprio strato impermeabile. Infatti, in presenza di piogge intense, una percentuale di acqua piovana si infiltra rapidamente nello strato superficiale, meno cementato, e giungendo sullo strato impermeabile, innescherà in breve tempo lo scivolamento e l'asportazione dello strato di terreno superficiale. Analizzando le modificazioni indotte dal fuoco sui suoli forestali, si osserva che il sott'orizzonte O1 è completamente sparito dal suolo bruciato ed il sott'orizzonte O2 si è profondamente modificato. Poiché l'orizzonte O (Fig. 10), in questo caso, corrisponde alla lettiera, è chiaro che questo è un effetto indotto dal passaggio del fuoco. Ciò che rimane dell'orizzonte organico nel suolo interessato dal fenomeno incendiario, è costituito in gran parte da radici dissecate e mescolate a residui carboniosi della lettiera e della vegetazione erbacea, arbustiva ed in parte arborea soprastante (Fig. 11).

CONCLUSIONI

Gli incendi boschivi non sono un fenomeno naturale, ma vengono appiccati per interessi ben precisi. Dall'analisi delle statistiche relative agli incendi boschivi in Italia, emerge che

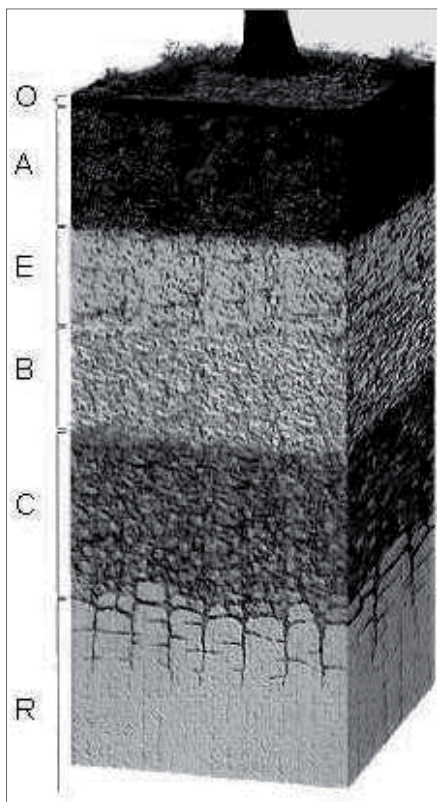


Figura 10 – Dopo il passaggio del fuoco, lo strato superficiale risulta essere impoverito di sostanza organica e meno cementato. Si osserva che il sott'orizzonte O1 è completamente sparito dal suolo bruciato ed il sott'orizzonte O2 si è profondamente modificato. Poiché l'orizzonte O corrisponde alla lettiera, è chiaro che questo è un effetto indotto dal passaggio del fuoco.

il fenomeno è in lieve diminuzione sia come numero di eventi sia come superfici forestali percorse dal fuoco; ciò avviene in controtendenza rispetto ad altri paesi europei.

Tale diminuzione è dovuta principalmente al graduale miglioramento dell'organizzazione antincendio italiana, che in molte regioni ha raggiunto buoni livelli di efficienza, in stretta concordanza con un adeguato ed aggiornato quadro normativo in materia di prevenzione e lotta agli incendi. La lotta agli incendi boschivi può contare su un nuovo e sofisticato sistema per accrescere la deterrenza in materia di incendi boschivi. La legge quadro (7) in materia di prevenzione e lotta agli incendi n. 353/2000 obbliga, infatti, i Comuni a censire annualmente i terreni percorsi dal fuoco attraverso un apposito catasto, in modo da applicare con esattezza i vincoli del caso (5), che vanno dal divieto di modificare la destinazione d'uso dell'area per 15 anni, all'impossibilità di realizzare edifici, esercitare la caccia o la pastorizia per un periodo di 10 anni (Tab. 1). Negli ultimi anni, si è prov-

veduto alla realizzazione dei rilievi delle aree boscate percorse dal fuoco durante il periodo estivo. I perimetri di tutte le aree incendiate sono state rilevate tramite tecnologia G.P.S. ed i dati ricavati sono stati riportati automaticamente su cartografia, grazie a uno specifico programma di gestione delle informazioni geografiche integrate nei Servizi Territoriali del Sistema Informativo della Montagna (SIM). Risultano vere e proprie mappe delle aree bruciate, complete di ogni informazione sulla proprietà – dalle particelle catastali al nome dell'intestatario – e sulle tipologie forestali danneggiate pronte per essere consegnate dalle Regioni alle singole amministrazioni comunali interessate dagli eventi. I dati che emergono rappresentano un'occasione per analizzare il fenomeno degli incendi boschivi in modo nuovo, offrendo una pluralità di chiavi di lettura che vanno dall'aspetto sanzionatorio a quello sociologico, consentendo interventi differenziati e mirati in termini di informazione, prevenzione e repressione. La conoscenza approfondita del territorio, resa sempre più dettagliata anche da questo progetto, permetterà a tutti gli enti competenti, a vari livelli istituzionali, di poter integrare i vari dati ottenuti (abusivismo edilizio, superficie incendiata ed acclività dei pendii interessati da tale fenomeno, eventuali zone in erosione attiva già presenti e/o di possibile attivazione, caratteristiche geopedologiche, geologiche, geomorfologiche ed idrologiche), al fine di poter tutelare e gestire al meglio il nostro territorio e, mitigando il rischio idrogeologico, poter intraprendere azioni preventive a fronte della tutela collettiva.

BIBLIOGRAFIA

- BENEDINI M., GISOTTI G. (1985), *Il dissesto idrogeologico*, N.I.S., Roma.
- CASTIGLIONI G.B. (1979), *Geomorfologia*, UTET, Torino.
- CIABATTI M. (1982), *Elementi di idrologia superficiale*, Coop. Lib. Univ. Ed., Bologna.
- CORPO FORESTALE DELLO STATO-ISPettorato GENERALE (2010), *Relazione incendi boschivi 2010* - www3.corpoforestale.it.
- LEGAMBIENTE, DIPARTIMENTO NAZIONALE DELLA PROTEZIONE CIVILE (2010), *Ecosistema incendi 2010: monitoraggio sulle azioni dei comuni italiani nell'applicazione della legge 353/2000 e nella mitigazione del rischio incendi boschivi* - www.legambiente.it.
- LEGAMBIENTE (2011), *La Nuova Ecologia* - www.legambiente.it.
- Legge quadro n. 353 del 21 novembre 2000.
- MARTINI E. (1992), *Boschi in fiamme: perché, come, che fare*, Sagep, Genova.
- PANIZZA M. (1988), *Geomorfologia applicata*, N.I.S., Roma.
- RETE SINAnet, *Cause ed effetti degli incendi boschivi* - www.sinanet.isprambiente.it.
- SANNA S. (2003), Appunti corso "Tecniche di intervento sul territorio", Università degli Studi di Trieste, Dip. Scienze Ambientali, Geologiche e Marine (A.A. 2003/2004).

Tabella 1 – Applicazione legge 353/2000 e lavoro di mitigazione rischio incendi boschivi svolto dai comuni italiani per aree geografiche

Lavoro svolto	Nord	Centro	Sud e Isole
Positivo	61%	75%	73%
Negativo	39%	25%	27%

Fonte: Legambiente

La Frana di Castagnola (Comune di Framura, Provincia della Spezia)

MARCO DEL SOLDATO
Geologo responsabile del Servizio Piani di Bacino
(Area Difesa del Suolo) della Provincia della Spezia

193

Dalla conoscenza, alla convivenza col rischio, ad una proposta di intervento non strutturale

INTRODUZIONE

La frana di Castagnola, in Comune di Framura (La Spezia), è un fenomeno noto da sempre sia localmente che in letteratura geologica. Ciò nonostante, come purtroppo è successo ed occasionalmente continua ad accadere, la sua pericolosità o la sua esistenza sono state accentuate o smentite in ragione di singole necessità e utilità contingenti.

Durante la fase di studio propedeutica alla definizione del modello geologico locale, è stata affrontata, ed è risultata fondamentale, anche l'analisi delle fonti storiche e documentaristiche.

Valgano alcuni esempi chiarificatori.

La chiesa parrocchiale, durante i circa sette secoli di vita della parrocchia (è citata per la prima volta nel 1298), ha subito profondi danneggiamenti, crolli, demolizioni, ricostruzioni e, soprattutto, almeno tre delocalizzazioni nell'ambito del corpo di frana, trovando solo nell'ultima posizione, la quarta (attuale) un assetto stabile. L'edificio più antico si trovava probabilmente in località la Chiesa dove ancora oggi rimangono i resti di una probabile abside; la seconda chiesa, documentata nel 1769, fu probabilmente dislocata in località Rovereto, ma senza miglior fortuna; il terzo edificio di culto fu eretto in posizione più centrale al corpo di frana, ma subì lesioni appena edificato (1830).

La frazione Rovereto, che nell'Ottocento era densamente abitata e dotata di un paio di esercizi commerciali, fu essa pure abbandonata e delocalizzata dopo circa un secolo dalla ricollocazione della chiesa.

In seguito, a cominciare dalla seconda metà del secolo scorso, esistono negli archivi delle Amministrazioni locali diversi riscontri e denunce di crolli, frane (1961: viene citato un ponte che collega le frazioni Costa e Castagnola, *...posto in una zona interessata già da tempo da un esteso movimento franoso...*; novembre 1966: il Comune denuncia *...uno smottamento del terreno a monte della strada presso il cimitero che ha danneggiato anche l'acquedotto...*; ancora 1960: esposto per edificio pericolante in località Palazzo di Castagnola), etc. culminati con l'abbattimento di alcune costruzioni, fra il 1955 ed il 1960, e la

temporanea sistemazione dei residenti in tre edifici bifamiliari ricordati localmente come le case degli sfollati. Ancora, sono conservati il diniego per una nuova edificazione (1962), la certificazione di inedificabilità per un terreno (1964: frazione della Croce), la certificazione di edificio costruito *...in zona interessata da vasto movimento franoso in atto...* (1965: via Cesare Battisti in frazione Castagnola) e la certificazione di inagibilità per un altro edificio, motivati tutti dal ripetersi e dal perdurare di fenomeni di instabilità.

LA FRANA: STUDI E MODELLO GEOLOGICO

Nel 1987 il Prof. Nosengo dell'Università di Genova descriveva la frana di Castagnola come caratterizzata da *...movimenti complessi di antica data su coltri detritiche e, in parte, substrato roccioso* (argilliti e serpentiniti) *che coinvolgono l'abitato, case sparse e strade, con fenomeni erosivi lungo l'asta torrentizia*. L'evoluzione prevedibile del fenomeno avrebbe comportato *...l'accelerazione ed estensione dei movimenti, ulteriori danni ... a manufatti e persone, pericolo di rilascio di masse consistenti e alluvionamento del basso corso del torrente Deiva...*

A questo punto è opportuno ricordare che la Frana di Castagnola si estende su un territorio esteso poco meno di 6 chilometri quadrati dei circa 19 del Comune di Framura, abitato da circa 350 dei 772 residenti totali (dati ISTAT 2000), i quali occupano un centinaio di edifici distribuiti lungo una decina frazioni principali (Castello, Passano, San Lorenzo, Chiesa, Lazzino, Nahà, Cella, Caminà, Voltorara, Pastene e Rovereto ormai abbandonata) nonché diverse case sparse.

In letteratura geologica si trovano mappe e diagnosi differenti, ma tutte concordi sull'esistenza dell'ampio movimento franoso attivo: Decandia F.A. e Elter P. (1972), Cortesogno L. et Alii (1981), Progetto AVI, Brandolini P.G. e Terranova R. (1995).

Successivamente, la zona di Castagnola, riconosciuta e diagnosticata come Area a pericolosità elevata, compare anche sulla dimenticata Carta di Zonizzazione Geologica e Geotecnica a supporto del P.R.G. redatta dallo Studio Previdi e Simonelli di Spezia nel 1993 per il Comune di Framura e, due anni dopo,

sulla cartografia per il censimento delle aree colpite da calamità idrauliche ed idrogeologiche fornita dal Comune alla Provincia della Spezia (1995).

Ma è proprio dalla seconda metà degli anni Novanta del secolo scorso che la situazione si comincia ad intorbidire: la Comunità Montana della Riviera Spezzina si interessa al fenomeno affidando ben due studi, nel giro di un triennio, alla società EptaConsult della Spezia che si limita, senza tener conto del pregresso, ad indagare la porzione più superficiale del dissesto, seppure ci fossero tutte le premesse per accertare, se non condividere, l'esistenza di una incidente componente profonda. In quella sede vennero riconosciuti almeno tre corpi di frana differenti, dei quali uno diagnosticato come stabilizzato ed uno solo attivo. Successivamente furono anche eseguiti una decina di carotaggi continui, armati con tubi inclinometrici, ed eseguita una serie di letture strumentali.

I risultati salienti furono la poca attendibilità delle stratigrafie dei carotaggi, la cui sorveglianza fu affidata a neolaureati inesperti cui spettò anche il compito di diagnosticare, in cantiere, il raggiungimento del substrato in corso di perforazione, per passare dal carotaggio continuo a quello a distruzione di nucleo. Inoltre, è necessario ricordare che i campioni furono dispersi, mantenendo agli atti documentazioni fotografiche e filmati come viene decisamente affermato nelle documentazioni tecniche: *...le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state riposte in apposite cassette di polistirolo e quindi fotografate; per ogni cassetta è stata eseguita anche un'apposita ripresa televisiva; le cassette sono quindi state svuotate, accuratamente pulite e riutilizzate per gli altri sondaggi...* E tutto questo per motivi di economicità.

Le letture inclinometriche furono eseguite per oltre un anno, ma già la prima lettura (circa un mese dopo la lettura di zero) evidenziò in corrispondenza di un paio di tubi deformazioni tali, in profondità, da non consentire il transito della sonda testimone. La stessa società incaricata scriveva nel luglio 2001: *...dopo la lettura di zero dell'aprile 2001 è stata eseguita in data 17.05.2001, una pri-*

ma misura di esercizio che ha mostrato come la maggior parte degli inclinometri presentino significativi segnali di movimento... ed ancora ...in particolare gli inclinometri 10 e 11 evidenziano una deformazione del tubo a profondità rispettivamente di 26 e 9 m dal p.c. (le lunghezze originarie dei tubi erano 40 e 22 m dal p.c.) dovuta con tutta probabilità all'intercettazione della superficie di scivolamento del dissesto; la deformazione è tale da non consentire la misura alle profondità maggiori...

In seguito furono accertate due nuove occlusioni nei fori 7 ed 8, rispettivamente a 20 ed 11 metri di profondità, nonché sensibili spostamenti negli altri fori attrezzati con tubi inclinometrici.

Nei primi anni di questo secolo, la Regione Liguria, dette ampio risalto alla realizzazione ed approvazione dei Piani di Bacino stralcio da Rischio Idrogeologico nelle aree di competenza dell'Autorità di Bacino Regionale (bacini di competenza tirrenica).

La mappatura della frana di Castagnola, come descritta nel relativo Piano di Bacino stralcio da Rischio Idrogeologico sulla base di tutti i riscontri precedenti, oltre che dei nuovi studi propedeutici al piano, non venne condivisa dall'allora Amministrazione Comunale, né dalla Provincia che, in Liguria, era parte dell'Autorità di Bacino Regionale al pari della stessa Regione. La negazione della frana, o meglio il suo radicale ridimensionamento sia areale che come grado di attività e ricorrenza, era finalizzato alla volontà di non porre vincoli e divieti edificatori su un territorio così vasto ed abitato.

Tuttavia la mappatura della frana di Castagnola inserita nel Piano di Bacino stralcio da Rischio Idrogeologico ottenne concordi riscontri sia dall'esame critico eseguito dalla struttura tecnica di Regione Liguria in sede di apporto istruttorio preliminare all'adozione del Piano, sia nella mappatura fatta dal Progetto SCAI (Federici et Alti, 2001).

Unica accezione che si può fare è che queste mappature dettagliano in particolare la situazione più superficiale della frana attiva, seppure diversi elementi, comprese le diagnosi precedentemente note in letteratura (Elter e Decandia, 1972; Cortesogno et alii, 1981; Nosengo, 1987) già ponevano l'ipotesi di una componente anche profonda del dissesto.

Il riesame critico dei pochi dati desumibili dalle stratigrafie di carotaggio, connesso alle evidenze geologiche, geomorfologiche e strutturali locali consentì la costruzione di un nuovo modello geologico. In particolare si possono sintetizzare questi elementi fondamentali nello schema seguente:

- *bed rock* ofiolitico in facies di serpentiniti da rocce lherzolitiche, ed in subordine gabbri, in discreto stato di conservazione;
- presenza di una ampia lingua di flysch (Formazione delle Argille a Palombini) di spessore relativamente modesto, fortemente disarticolata ed in possibile lento scivolamento (coinvolgendo occasionalmente anche scaglie di diaspri o serpentiniti) sul predetto substrato ofiolitico;
- presenza di spianate morfologiche (almeno tre) poste a differente altimetria ed andamento in debole contropendenza rispetto a quella media del versante;

- piani di scivolamento profondi 20-25 metri e, probabilmente, anche oltre;
- evidenza di situazioni di dissesto sulle strutture edilizie anche quando sono localizzate entro le spianate morfologiche (basculamenti);
- diffusione di areali a forte imbibizione, aree sartuose e risorgenze idriche.

Tutti questi elementi concorrevano a diagnosticare, analogamente al progetto SCAI, la presenza di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (D.G.P.V.) complicata e mascherata da diffuse coperture sciolte più o meno estese e potenti (in parte dovute e/o alimentate anche a frane secondarie di provenienza dai versanti incipienti) e fortemente imbibite. Un sistema complesso e con evoluzione secondo modalità, tempi, direttrici e velocità differenti.

IL MONITORAGGIO E L'EVOLUZIONE DEL FENOMENO

All'inserimento della mappatura della frana attiva di Castagnola nel Piano di Bacino in approvazione seguirono momenti di seria tensione ed opposizione.

Il Servizio Piani di Bacino della Provincia predispose allora un progetto di studio, per l'epoca, alternativo ed innovativo: la predisposizione di un'indagine secondo la tecnica dell'interferometria radar satellitare, acquisendo le immagini da satellite ERS1 ed ERS2 (*baseline-Doppler*) dal 1992 al 2003 (40 immagini di orbite ascendenti e 85 immagini di orbite discendenti) ed affidando lo studio, in convenzione, al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, che si avvale anche di TeleRilevamento Europa *spin-off* del Politecnico di Milano.

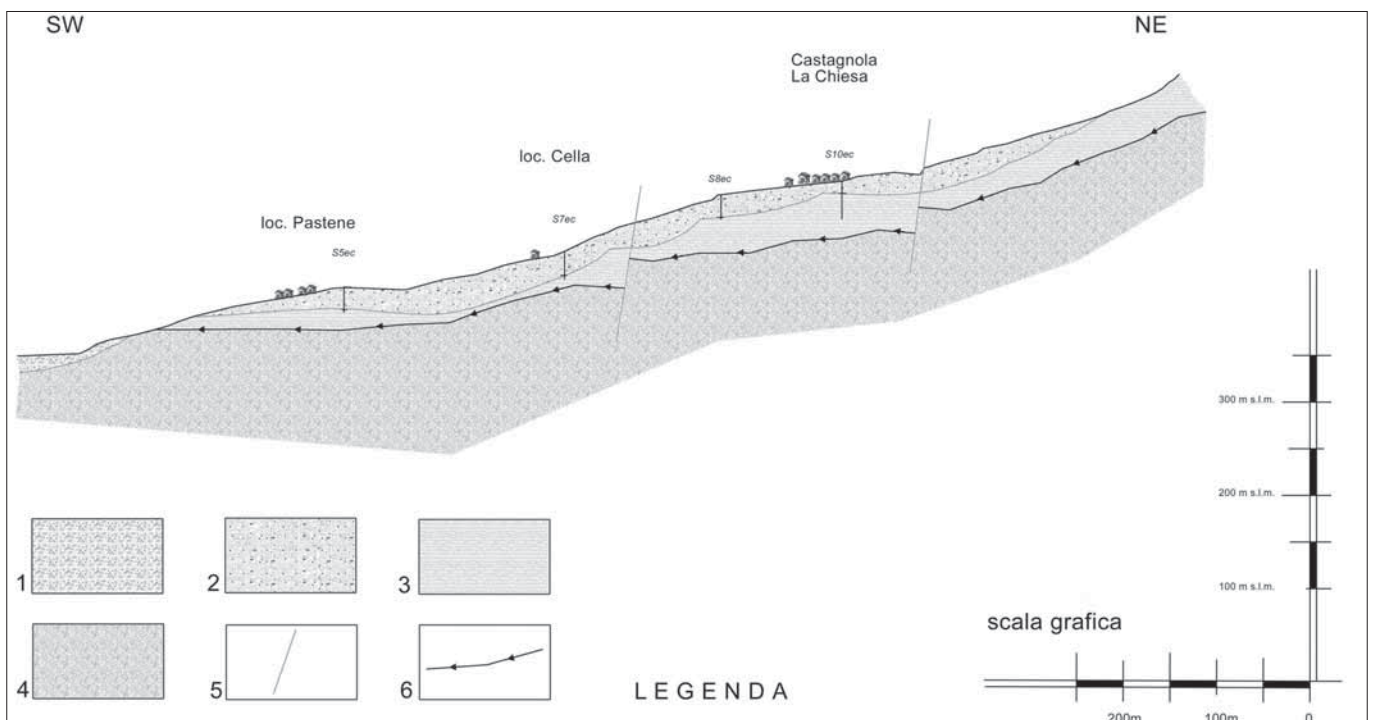


Figura 1 - Il modello geologico della frana di Castagnola. Legenda: 1 - alluvioni fluviali del torrente Castagnola; 2 - coltre eluviale; 3 - Formazione delle Argille a Palombini; 4 - serpentiniti; 5 - faglie; 6 - superfici di scivolamento principali della frana profonda.

Lo scopo era duplice: eseguire uno studio sperimentale, altamente scientifico, che avesse tutte le caratteristiche dell'imparzialità poiché incontestabile da parte delle Amministrazioni coinvolte ed ottenere, nel giro di un anno circa, le serie di monitoraggio della frana estese alla dozzina di anni delle immagini acquisite.

Conseguentemente sarebbe stato possibile:

- dimensionare adeguatamente e correttamente la reale area in movimento;
- stabilire le velocità di spostamento;
- stabilire un *range* di spostamento che fosse compatibile con un accettabile grado di rischio per la popolazione residente;
- definire la tipologia degli interventi sul patrimonio edilizio compatibili con questo grado di rischio;
- definire le eventuali linee guida per la predisposizione di interventi strutturali.

L'ipotesi progettuale prevedeva anche la predisposizione di un modello idrogeologico locale, sia a livello di acquifero poroso che di eventuale acquifero fratturato, ma questa parte, affidata alla predisposizione di una serie di piezometri, dovette essere stralciata per difetto di finanziamento.

Il progetto, finanziato da Regione Liguria, fu avviato nel 2003.

I primi risultati furono mascherati dall'individuazione, all'interno del corpo di frana, di pochissimi *Permanent Scatterers*. Indagini più approfondite diagnosticarono che il problema risiedeva nella combinazione di due

cause: tassi di deformazione troppo elevati (movimenti di 6-7 cm/anno) e spostamenti non lineari (innescati da soglie elevate di precipitazioni).

Fu allora riadattata la tecnica interpretativa restringendo la diagnosi a periodi temporali ridotti (35, 70 e 105 giorni), ma su *dataset* caratterizzati da buona coerenza interferometrica.

Questa volta i risultati furono sorprendenti, permettendo la redazione di una serie di mappe di spostamento lungo la linea di vista del satellite, per gli intervalli temporali definiti ed un'accuratezza di velocità pari a 0,5-1,0 cm che consentirono di caratterizzare l'attività della frana come intermittente, ma con fasi di spostamento estremamente intense e dell'ordine del limite superiore del *range* come cumulata riferita ad un periodo di trenta-quaranta giorni.

In particolare fra il 1998 ed il 2000 le mappe di deformazione hanno confermato un'attività dell'area di frana con tassi di deformazione che in alcuni periodi hanno superato i 2,5 cm/mese. Ancora, è stato possibile accertare una fase di forte attività nel periodo 1998-1999, con conseguente diminuzione dei tassi deformativi da fine del 1999 fino al 2000.

Contestualmente fu avviata anche una revisione critica di tutti i dati di campagna noti, comprese le stratigrafie di carotaggio il cui esame fu forzatamente limitato alle scarse descrizioni correlate alle fotografie dell'epoca.

Il quadro generale portò alla puntualizzazione ulteriore del modello geologico, confermando la mappatura del vasto movimento gravitativo eseguita sul Piano di Bacino, nel frattempo approvato, che si manifestava in maniera intermittente con fasi di spostamento estreme, intervallate da lunghi periodi di quiescenza. I movimenti più macroscopici si manifestavano nell'ambito dell'ampia coltre sciolta superficiale (di spessore massimo compreso fra 10 e 20 metri), con evidenze corticali di limitate liquefazioni tipo *mud flow*, ma gli scivolamenti principali interessavano anche il substrato. In particolare il corpo di materiale sciolto poggiava su un substrato argilloscistoso stimato di non oltre una ventina di metri di potenza che, a sua volta, accusava fenomeni di scivolamento al di sopra dello zoccolo profondo serpentinitico.

I risultati dello studio eseguito dall'Università di Firenze mediante interferometria radar da satellite non lasciava più dubbi circa l'attività della frana e la sua dimensione, risultata lievemente più ampia rispetto a quella riportata sulla carta di Suscettività al Dissesto del Piano di Bacino stralcio da Rischio Idrogeologico fortemente contestata localmente, ma approvata e tutt'ora vigente.

Successivamente si rese indispensabile impostare un sistema di monitoraggio anche sugli edifici o, quanto meno, su alcuni edifici della frazione più densamente abitata.

L'operazione fu possibile riutilizzando strumenti provenienti da altri monitoraggi dismessi, ed utilizzando piccole somme per la verifica e taratura degli apparecchi, il posizionamento e la predisposizione di un sistema di raccolta e trasmissione dati (con letture ogni 6 ore) in automatico.

In questa fase fu studiato anche un primo intervento non strutturale, finalizzato alla sensibilizzazione dei residenti ed a una loro presa di coscienza circa la necessità di convivenza con un rischio seppure fosse tenuto sotto controllo.

Il provvedimento si materializzò con un emendamento alla normativa di Piano in vigore che consentisse la fattibilità di interventi di demolizione con ricostruzione degli edifici residenziali secondo modalità e tecniche antisismiche (precedentemente all'entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio ed alle Norme Tecniche sulle Costruzioni) e senza aumento del carico insediativo o cambi di destinazione d'uso.

Lo scopo era evidentemente quello di procedere ad una progressiva diminuzione del rischio puntuale facendo leva sull'iniziativa dei residenti e sulla loro presa di coscienza di vivere su una frana attiva.

Una ulteriore fase di monitoraggio strumentale fu possibile ancora grazie ad un nuovo finanziamento regionale che consentì

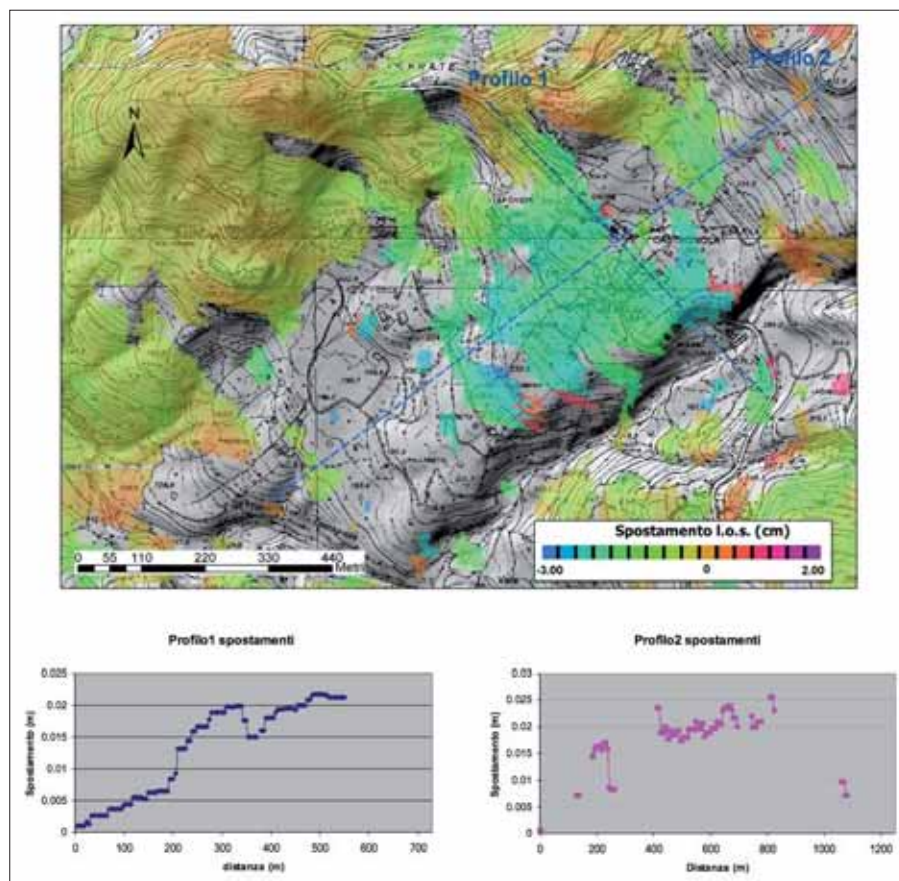


Figura 2 – Profili e mappa di deformazione relativa al periodo 22 ottobre 1998-4 febbraio 1999 (da Casagli et alii (2004).

l'avvio di una campagna di controllo mediante la tecnica dell'interferometria radar da postazione fissa.

In realtà il finanziamento consentiva di eseguire solo quattro settimane di monitoraggio continuo che furono distribuite lungo l'arco temporale di un anno, al fine tentare anche correlazioni spostamenti-piuvosità.

La prima settimana di monitoraggio (ottobre 2008) non evidenziò aree in deformazione. La seconda campagna fu avviata all'inizio del mese di febbraio 2009, in coda ad un lungo periodo di crisi meteorologica (iniziato nel novembre 2008) che aveva interessato la provincia della Spezia. I primi dati furono subito allarmanti: i movimenti riscontrati furono subito intensi tanto che fu deciso, in accordo fra Servizio Piani di Bacino della Provincia, Università di Firenze e Comune di Framura, di mantenere in funzione lo strumento oltre la settimana prevista, diversamente da quanto progettato.

L'esame continuo e diretto degli spostamenti fu fondamentale per affrontare la crisi che si stava palesando. Le velocità di spostamento variavano da zona a zona della frana fra 0,025 mm/ora (settore occidentale) e 0,055 mm/ora (settore orientale), senza attenuazione, tanto che cominciava a prendere corpo anche l'ipotesi di una evacuazione parziale degli abitati.

Con l'avvicinarsi della fine del mese di febbraio le velocità di spostamento cominciarono ad attenuarsi, fino a rientrare in range accettabili e scongiurare la necessità dell'intervento estremo.

Lo studio a posteriori dei diagrammi di spostamento portò a riconoscere cumulate di movimento comprese fra 40 e 50 mm in 28 giorni.

Questo è stato il terzo evento estremo documentato della storia più recente della frana.

Consequentemente è stato predisposto un nuovo progetto di monitoraggio mediante radar da terra e la contestuale implementazione del sistema di monitoraggio strumentale con la previsione di quattro o cinque tubi armati con celle Casagrande e trasmissione diretta dei dati. Ancora una volta la disponibilità di Regione Liguria e la condivisione del Comune di Framura hanno consentito di materializzare il progetto. Allo stato attuale è stata sottoscritta la nuova Convenzione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze e sono appena stati avviati i lavori sul terreno con la perforazione dei carotaggi continui e l'alloggiamento delle celle Casagrande.

Unico neo è la disarmante realtà secondo la quale, nonostante i proclami di alcuni politici locali circa l'indispensabile necessità di manutenzione del territorio e di monitoraggio delle aree a rischio per eventi calamitosi, non

sia possibile mantenere in funzione anche i pochi strumenti posti in opera sui fabbricati.

CONCLUSIONI: COSTI E RISULTATI.

I risultati ottenuti in questi sette-otto anni di gestione della frana di Castagnola sono stati certamente significativi.

La conoscenza approfondita del fenomeno, sia in termini di modello geologico che di movimento e rischio sono, seppure importanti, del tutto secondari rispetto al profondo cambiamento di approccio della popolazione alla realtà in cui vive. È fondamentale sottolineare il fatto che si è passati dalla ferma ed incondizionata opposizione al Piano di Bacino che estendeva un vincolo totale sulla zona, non condiviso, ma anche molto strumentalizzato, ad una coscienza di convivenza col rischio che responsabilizza i residenti consentendogli anche di intervenire sugli edifici per renderli più sicuri. Quello normativo è stato un intervento indispensabile in quest'ottica, senza il quale si sarebbero continuate a manifestare le forti opposizioni al Piano e le conseguenti strumentalizzazioni.

Un risultato frutto di assunzione di responsabilità sia tecnica che politico-amministrativa locale, ma che necessita comunque della prosecuzione degli interventi di monitoraggio per consentire un livello di rischio accettabile per la popolazione. Un intervento assolutamente non traumatico per l'ambiente, ma altrettanto non appariscente, al contrario di quelli fortemente impattanti e che assicurano grande visibilità ai poco illuminati e pavoneggianti politici di turno, ma che per questo è sempre più difficile mantenere in vita nonostante la forte condivisione dell'attuale Sindaco di Framura.

Un altro fondamentale risultato è quello economico: il bilancio costi/benefici di quanto realizzato in ragione dei risultati ottenuti:

- 2001: carotaggi e monitoraggio inclinometrico finanziato alla Comunità Montana, per la somma di 200 milioni di lit/2001;
- 2002: analisi storica e geologica eseguita dalla Provincia (attività istituzionale);
- 2003: acquisizione immagini ERS1 e ERS2, analisi PS e DinSar per un totale di 96.000,00 euro;
- 2004: predisposizione ed approvazione emendamento normativo (attività istituzionale);
- 2007-2009: revisione, predisposizione impianto di monitoraggio sugli edifici nella frazione di Castagnola, lettura ed elaborazione dei dati strumentali (sospeso nell'aprile 2010 per esaurimento dei fondi) per un totale di 46.539,00 euro;
- 2008: interferometria radar a terra (GBInSar) sperimentale per 4 settimane, con un costo di 35.039,99 euro;

- 2011: interferometria radar a terra (GBInSar) che si protrarrà per i prossimi due anni e studio dell'interferenza della falda freatica per un totale di 172.618,72 euro; Il totale complessivo assomma a 453.489,00 euro ed impatto zero, al confronto di un progetto strutturale, probabilmente migliorativo delle condizioni generali, ma sicuramente non risolutivo della situazione globale, redatto per conto della Comunità Montana per un ammontare di 17 milioni di euro.

Infine, un'ultima proposta: alcuni interventi strutturali andranno certamente previsti nel prossimo immediato futuro, ma si ritiene che saranno limitati al opere di regimazione idraulica (superficiale e forse parzialmente profonda), ad interventi di mitigazione dei fenomeni erosivi ed a limitati interventi strutturali più incisivi, ma la proposta che si porta avanti da tempo senza alcun tipo di riscontro è quella di un incentivo pubblico finalizzato a contribuire economicamente agli interventi di demolizione con ricostruzione degli edifici residenziali, come previsti nella normativa, e finalizzati al miglioramento puntuale delle condizioni di sicurezza per i residenti.

BIBLIOGRAFIA

- BRANDOLINI P.G., TERRANOVA R. (1995), *Esempi di dissesti geomorfologici dei versanti liguri e loro riflessi sulla conservazione del suolo. Studi scientifici in memoria di Mario Niccolò Conti (1898-1988)*. Memorie dell'Accademia Ligure di Scienze Giovanni Capellini, Scienze Naturali, Fisiche e Matematiche. Vol. LXIV-LXV, 1994-1995.
- CASAGLI N., FARINA P., KUKAVICIC M., RIGHINI G. (2004), *Monitoraggio dei fenomeni franosi in località Castagnola (La Spezia) mediante interferometria SAR satellitare*. Report Interno.
- CASAGLI N., ANTOLINI F., DEL VENTISETTE C., LUZI G., TOFANI V., LEVA D., RIVOLTA C., BINDA ROSSETTI I. (2009), *Monitoraggio dei fenomeni franosi in località Castagnola (La Spezia) mediante interferometria con sensori basati a terra*. Report Interno.
- CORTE SOGNO L., GALBIATI B., PRINCIPI G., VERCESI DEL CASTELLAZZO G. (1981), *Carta geologica delle ofioliti del Bracco tra Levante e Velva*. CNR, Firenze.
- DECANDIA F.A., ELTER P. (1972), *La zona ofioliti fero del Bracco nel settore compreso fra Levante e la Val Graveglia (Appennino Ligure)*. Sessantaseiesimo Congresso della Società Geologica Italiana. Pisa.
- DEL SOLDATO M. (2008), *La frana di Castagnola (Framura): modello geologico, monitoraggio convenzionale e monitoraggio satellitare di un fenomeno in evoluzione*. www.geologia.com
- DEL SOLDATO M. (2004), *La frana di Castagnola (Framura): storia e modello geologico*. Riv. I Quadermi Levantesi, aa. 2002-2003, n. 4/5.
- FEDERICI P.R., BALDACCI F., PETRESI A., SERANI A. (2001), *Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria. 1. La Spezia*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo per la Difesa dalle Catastrofi Naturali - Regione Liguria - Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra, U.O. 2.13.

Indici di instabilità atmosferica e distribuzione degli eventi pluviometrici estremi in Italia

SALVATORE GABRIELE
CNR-IRPI, Rende
e-mail: gabriele@irpi.cnr.it

FRANCESCO CHIARAVALLOTI

ANTONELLO MUTO

GIUSEPPE MUSSO

ABSTRACT

L'Italia, per la sua posizione geografica al centro del Mediterraneo e la presenza delle Alpi al Nord, mostra una elevata variabilità climatica che si riflette sia sulle caratteristiche delle precipitazioni, che sul regime pluviometrico. Il dissesto idrogeologico ed i conseguenti eventi calamitosi sono fortemente correlati, non solo ai quantitativi totali di pioggia ma, soprattutto, alle modalità con cui questa si verifica, nel tempo e nello spazio. Gli ultimi tragici eventi alluvionali che hanno causato non solo danni ma anche numerose vittime, Vibo Valentia (2006), Messina (2009), sono stati la conseguenza di intensissime precipitazioni che hanno interessato aree di pochi kmq con durate massime di 2-3 ore. Anche se non sempre è possibile distinguere meteorologicamente in modo netto le situazioni che provocano precipitazioni intense e brevi (qualche ora) da quelle che producono precipitazioni meno intense ma di durata maggiore (12/24 ore), nel primo caso si parla prevalentemente di fenomeni convettivi, con formazione di nubi a forte sviluppo verticale (cumulonembi), mentre nel secondo caso si è in presenza di perturbazioni frontali a scala sinottica, caratterizzate da precipitazioni di tipo stratiforme. Le condizioni atmosferiche in cui si sviluppano fenomeni convettivi e fenomeni stratiformi possono essere caratterizzate tramite opportuni indici, calcolati dai parametri dinamici e termodinamici dell'atmosfera, utilizzabili per discriminare tra le due situazioni.

In questo lavoro, a partire da una ricostruzione meteorologica effettuata con dati atmosferici di re-analisi in corrispondenza di 198 eventi pluviometrici estremi (in termini di concomitanza del maggior numero di massimi annuali di precipitazioni brevi e giornaliere), è stata calcolata per ogni stazione pluviometrica la serie dei suddetti indici, analizzate poi in termini di frequenza superiore al 95° percentile. La comparazione tra aree caratterizzate da frequenti precipitazioni estreme e gli indici meteorologici ad esse associate, forniscono utili indicazioni sulle caratteristiche meteo prevalenti degli eventi estremi che interessano il territorio Nazionale.

Parole chiave: piogge stratiformi, piogge convettive, indici di stabilità, eventi estremi, rischio idrogeologico.

1. INTRODUZIONE

Intensità, frequenza e durata delle precipitazioni sono il risultato di complesse interazioni tra flussi atmosferici ad ampia scala e fattori locali che si identificano, in gran parte, nella morfologia del territorio. Esposizione, pendenza e quota dei versanti, condizionano infatti significativamente le precipitazioni in funzione della direzione di provenienza prevalente dei flussi atmosferici. I maggiori condizionamenti sulle precipitazioni sono causati dalla presenza di strutture orografiche ben organizzate, capaci di interagire con i flussi atmosferici lungo ben definite direttrici. Mentre quest'ultima componente è invariante, i flussi atmosferici sono caratterizzati da una forte variabilità, spaziale e temporale, in termini di: intensità, direzione del moto e livelli di instabilità verticale dell'atmosfera.

Le precipitazioni intense di breve durata sono principalmente associate ad eventi convettivi più o meno locali, e sono quindi fortemente correlate alle caratteristiche di stabilità dei flussi atmosferici, in termini di umidità nei bassi strati e profilo verticale di temperatura dell'ambiente. L'orografia può inoltre giocare un ruolo importante nell'innescare della convezione, come causa locale di iniziali moti forzati verso l'alto che portino al successivo rilascio di instabilità convettiva.

Le precipitazioni di lunga durata, al contrario, sono conseguenza di flussi stabili e ben organizzati che, anche se possono essere preceduti da elevate instabilità, tendono a strutturarsi a scala sinottica e generare precipitazioni meno intense ma più durature.

2. INSTABILITÀ DINAMICA E CONVETTIVA: PIOGGE STRATIFORMI E CONVETTIVE

La pioggia è il risultato di moti ascensionali di aria umida che giunge a condensazione. Salendo in quota verso zone di minore pressione, infatti, una data massa d'aria si raffredda adiabaticamente per espansione e, quando la temperatura scende sotto il punto di rugiada (saturazione), si ha condensazione del vapore presente (goccioline di nube), con conseguente formazione di strutture nuvolose: quando le microparticelle di nube raggiungono poi dimensioni tali da non poter essere più sostenute dalle correnti ascensionali, si sviluppa la precipitazione.

Molteplici sono i processi che, a diverse scale, causano il sollevamento di masse d'aria, più o meno estese. Semplificando il discorso, si possono individuare due meccanismi principali, che agiscono a scale diverse e si basano su processi fisici differenti: la dinamica frontale, e la convezione profonda.

A scala sinottica, e alle medie latitudini, il sollevamento di masse d'aria è conseguenza della dinamica dei fronti (frontogenesi), effetto dell'instabilità baroclinica (Charney, 1947; Eady, 1949) e della dinamica della vorticità potenziale (Davis and Kerry, 1991). Una superficie frontale separa aria fredda e secca, più densa, da aria calda e umida, meno densa. Si parla di "fronte caldo" se è l'aria calda che, avanzando, sale su quella fredda più densa e arriva a condensazione, mentre nel "fronte freddo" è l'aria fredda che, col suo moto, si incunea sotto la massa d'aria più calda spingendola verso l'alto e portandola a condensazione. Dipendendo dal tipo di fronte, la struttura di nubi e pioggia che si viene a creare è diversa nelle due situazioni descritte. Nel fronte caldo si ha formazione di precipitazioni prevalentemente in zona prefrontale, mentre nel fronte freddo si vengono a creare due zone di precipitazione: una stretta banda di pioggia molto intensa lungo il fronte o in zona prefrontale, e una banda larga di pioggia leggera dietro il fronte.

Su scale minori, sino alla mesoscala, un altro meccanismo che porta a moti verticali è il rilascio di instabilità convettiva. La formazione nuvolosa tipicamente associata ai forti moti ascensionali di natura convettiva è il *cumulonembo*, nube a sviluppo verticale sostenuta dalla forte corrente di aria caldo-umida in salita, che porta a precipitazioni molto intense, a carattere temporalesco, anche se di durata inferiore rispetto alle piogge associate ai fronti.

I parametri termodinamici (distribuzione del vapor d'acqua e profilo verticale di temperatura) e meccanici (velocità verticale e *wind shear*) dell'atmosfera sono diversi per le due situazioni descritte, soprattutto in termini di velocità verticale, molto più alta per i moti convettivi. Ciò implica differenti processi microfisici di formazione delle nubi (condensazione, collisione e coalescenza) e quindi piogge con caratteristiche diverse. Queste possono

essere classificate in *stratiformi* e *convettive* (Houze, 1993, 1981; Zipser, 1977; Leary and Houze, 1979a), proprio in base all'intensità della velocità verticale dell'aria (Houze, 1993).

Le piogge stratiformi, dette anche precipitazioni dinamiche, sono prodotte dagli stratocumuli (Savic-Jovicic and Stevens, 2008; Kogan et al., 1995) e sono la conseguenza di moti ascensionali lenti (~1 m/s) e piuttosto estesi, come quelli appunto associati ai fronti. Le intensità di precipitazione non sono in genere elevate, ma la scala temporale è dell'ordine di qualche giorno, il che fa sì che la pioggia cumulata possa essere significativa.

Le piogge convettive, invece, come accennato, sono prodotte dai cumulonembi, caratterizzati al loro interno da alti *updraft* (~1-10 m/s), ma su scale spaziali minori: da qualche km a qualche centinaio di km. Le precipitazioni convettive sono generalmente più intense di quelle stratiformi (Leary and Houze, 1979a), caratterizzate da una forte variabilità spaziale e temporale, ma di durata inferiore: scala temporale dell'ordine dell'ora. Comunque, caratteristiche stratiformi e convettive possono anche coesistere (Houze, 1997; Houghton, 1968; Halverson et al., 1999).

Le proprietà delle precipitazioni, in termini di intensità e cumulata al suolo, dipendono comunque, oltre che dalle modalità di salita della massa d'aria e della termodinamica e microfisica associata, anche dalla disponibilità di umidità che alimenta il processo di formazione dell'idrometeora. Essendo l'ammontare di vapor d'acqua in una colonna d'aria (acqua precipitabile) dell'ordine dei 25 mm alle medie latitudini (Trenberth and Guillemot 1994-1998), ed essendo l'efficienza dei meccanismi di produzione della pioggia non molto alta, intorno al 30% (Fankhauser, 1988; Ferrier et al. 1996), è evidente che, nel caso di piogge consistenti, deve esserci un meccanismo dinamico di trasporto dell'umidità che alimenti la precipitazione.

3. INDICI METEOROLOGICI

Per quantificare l'attitudine di una data configurazione meteorologica ad originare precipitazioni è possibile far ricorso ad opportuni indici che caratterizzano sia la dinamica dell'atmosfera, in modo da tener conto di eventi associati a frontogenesi e instabilità dinamica (indici che possiamo indicare come "stratiformi"), sia la sua termodinamica, in modo da valutare la presenza o meno di instabilità potenziale (e parleremo in tal caso di indici "convettivi"). Nel presente lavoro sono stati adoperati due indici tra di loro complementari.

3.1 INDICE STRATIFORME ∇Q

Per valutare la presenza di instabilità dinamica è possibile utilizzare la divergenza del vet-

tore Q (Hoskins et al, 1978; Hoskins and Pedder, 1980; Jusem and Atlas, 1998) così definito:

$$Q_x = -\frac{R}{\rho} \frac{\partial v_g}{\partial x} \nabla T$$

$$Q_y = -\frac{R}{\rho} \frac{\partial v_g}{\partial y} \nabla T$$

dove v_g è il vento geostrofico,

$$v_g = \left(-\frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \right)$$

che, su una superficie isobarica assume la forma:

$$v_g = \left(-\frac{1}{f} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)_p, \frac{1}{f} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_p \right)$$

In approssimazione quasi-geostrofica, infatti, è possibile ricavare la ben nota "equazione omega" per lo studio dei moti verticali (Durran and Snellman; 1987):

$$\left(\sigma \nabla^2 + f_0 \frac{\partial^2}{\partial p^2} \right) \omega = f_0 \frac{\partial}{\partial p} \left[v_g \nabla \left(\frac{1}{f_0} \nabla^2 \Phi + f \right) \right] + \nabla^2 \left[v_g \nabla \left(-\frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \right]$$

dove $\sigma = -\frac{\alpha}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial p}$ (α è il volume specifico e θ la temperatura potenziale) e $\frac{dp}{dt}$ è la velocità verticale isobarica che caratterizza appunto il moto verticale dell'atmosfera. Se si trascura la piccola variazione del parametro di Coriolis con la latitudine, è possibile semplificare l'equazione precedente nella seguente forma (Hoskins et al., 1978):

$$\left(\sigma \nabla^2 + f_0 \frac{\partial^2}{\partial p^2} \right) \omega = -2\nabla \cdot Q$$

Il primo termine è proporzionale a $-\nabla \cdot \omega$, quindi se $\nabla \cdot Q > 0$ allora $\omega > 0$ e si avrà stabilità, mentre se $\nabla \cdot Q < 0$ si avrà moto verticale della massa d'aria ($\omega < 0$), ovvero instabilità.

Calcolando, perciò, $\nabla \cdot Q$ ad esempio ai livelli di 500 e 850 hPa, si può caratterizzare l'instabilità dinamica (Lorente et al., 2008; Iturrioz et al., 2007; Koch et al., 1998).

3.2 INDICE CONVETTIVO CAPE

Un modo per analizzare la situazione termodinamica dell'atmosfera in relazione al possibile sviluppo di moti convettivi è quello di confrontare il profilo verticale di temperatura esistente (noto, ad esempio, tramite un radiosondaggio) con la temperatura di una massa d'aria che dal suolo viene forzata a salire diabaticamente e i cui parametri termodinamici possono essere calcolati tramite la Lifted Parcel Theory (Manzato and Morgan, 2003). Considerando una particella d'aria umida in ascesa, inizialmente la particella si raffredderà lungo un'adiabatica umida, tipicamente in misura maggiore dell'ambiente, per cui la risalita sarà ostacolata e dunque il sollevamento deve essere sostenuta da qualche agente esterno. Ad un certo punto, raffreddandosi, il volumetto raggiungerà un

situazione di saturazione e il vapor d'acqua condenserà. È stato raggiunto il cosiddetto *Lifted Condensation Level* (LCL: temperatura della particella uguale alla temperatura di rugiada). Raggiunta la saturazione, la condensazione del vapore e il conseguente rilascio di calore latente abbassa di molto il tasso di raffreddamento della particella d'aria che, continuando a salire, si raffredderà lungo un'adiabatica secca e può trovarsi, ad un certo punto, a possedere una temperatura pari a quella dell'ambiente: è stato raggiunto il *Level of Free Convection* (LFC). Da questo punto in poi la particella galleggia, e il moto ascensionale sarà accelerato sino a quando, per via dell'inversione termica della tropopausa, la temperatura dell'ambiente diventerà nuovamente uguale a quella della particella; ciò accade al cosiddetto *Equilibrium Level* (EL), che corrisponde alla base dell'inversione termica permanente presente tra troposfera e stratosfera, oltre la quale i processi convettivi tendono ad arrestarsi.

È quindi evidente come, considerando globalmente tutto il processo di ascensione di una particella d'aria, dalla superficie sino all'apice della troposfera, la presenza del vapore possa rendere complessivamente possibile, e anzi favorevole da un punto di vista energetico, l'instaurarsi di un esteso moto convettivo (convezione profonda). Il moto è inibito dal suolo sino all'LFC, mentre è favorito dall'LFC sino all'EL.

Un indice che riassume sinteticamente la situazione descritta, misurando l'energia disponibile per la convezione, ovvero quella disponibile tra l'LFC e l'EL è il CAPE-*Convective Available Potential Energy* (Moncrieff and Green, 1972; Moncrieff and Miller, 1976), uno tra gli indici di instabilità termodinamica più significativi. Esso è definito come:

$$CAPE = g \int_{LFC}^{EL} \frac{T_p - T_e}{T_e} dz \cong g \sum_{LFC}^{EL} \frac{T_p - T_e}{T_e} \quad [J/kg] \quad (2.19)$$

dove T_p e T_e sono le temperature virtuali (Doswell and Rasmussen, 1994), rispettivamente della particella e dell'ambiente. Il CAPE rappresenta l'ammontare di "energia di galleggiamento" disponibile per accelerare la particella.

4. ELABORAZIONE DEI DATI

Vista l'elevata complessità necessaria ad elaborare i dati climatici corrispondenti a ciascun massimo annuale delle serie storiche disponibile in Italia, è stato utilizzato un criterio di selezione degli eventi basato sulla numerosità delle stazioni che hanno registrato massimi valori nello stesso giorno. A partire dal 1 gennaio 1958, sino al 31 dicembre 1998, è stato realizzato, per ogni giorno, un elenco delle stazioni che hanno registrato il massimo annuale di pioggia giornaliera.

Il maggior numero di stazioni che hanno manifestato nello stesso giorno il massimo annuale è stato il 4/11/1966, in coincidenza dell'alluvione di Firenze, con ben 610 stazioni. Sono stati elaborati 198 eventi che coprono un intervallo che si estende da 610 a 80 stazioni. Il campione, anche se non comprende tutti i possibili eventi, ha consentito di analizzare 70.000 anni-stazione.

Le elaborazioni effettuate nel presente lavoro riguardano la comparazione, su tutta la penisola, tra indici meteo e serie dei massimi annuali delle piogge giornaliere. Le serie relative al CAPE e ∇Q comprendono i dati calcolati sui 198 eventi elaborati a partire dai dati di re-analisi dell'archivio ERA40 dell'ECMWF (UPPALA, 2001), mentre le serie relative alle massime piogge giornaliere di circa 3500 stazioni sono state desunte dall'archivio SIVAPI (Gabriele, 1998). Per ciascuna stazione, per agli indici ∇Q e CAPE sono state prese in considerazione numerosità comprese tra 5 e 20 valori mentre, per i massimi annuali delle piogge giornaliere, sono stati utilizzati i dati dal 1958 al 1998. Nella costruzione delle serie dei dati meteo, in ciascun punto corrispondente ad una stazione pluviometrica, ad ogni elemento corrisponde un massimo pluviometrico per la stessa data. Ciascuna grandezza analizzata è rappresentata in termini di frequenza di valori superiore ad un soglia x'_n della serie di dati disponibili in ciascun sito. Il valore soglia x'_n è stato fissato secondo il percentile 95° della serie cumulata di tutti i dati disponibile

in Italia. Una prima elaborazione riguarda la mappatura delle aree dove sono presenti serie storiche con frequenze significative di valori superiori alla soglia del percentile 95°, ovvero, dove si ha la massima frequenza di valori estremi. Come mostrato in Fig. 1, in Italia si possono individuare 5 aree in cui si concentrano le massime precipitazioni: le due aree prealpine Piemonte e Friuli Venezia Giulia, la Liguria, l'area comprendente la Calabria Ionica e Sicilia Orientale, e, infine, il versante orientale della Sardegna. La valutazione sulla natura prevalente delle precipitazioni riportate in Fig. 1, se stratiformi o convettive, può essere, in linea generale desunta dalle equivalenti mappe del CAPE e del ∇Q riportate in Figg. 2 e 3. Elevate frequenze del CAPE si hanno in corrispondenza di Calabria, Sicilia, Sardegna, Toscana e Liguria da cui si desume che, per le equivalenti aree individuate in figura 1, molti massimi annuali di piogge giornaliere sono conseguenti a precipitazioni con una prevalente componente convettiva. Per la seconda area di figura 1, ovvero la fascia prealpina del Friuli Venezia Giulia, le frequenze del CAPE sono praticamente nulle mentre sono elevate quelle del ∇Q , ad indicare che la gran parte dei massimi annuali delle piogge giornaliere è generato da piogge di tipo stratiforme. Per quanto riguarda invece la fascia prealpina del Piemonte, le mappe riportate in Fig. 2 sono poco significative in quanto non esistono, relativamente agli indici, stazioni con una numerosità di eventi superiori a 5.

Confrontando le due mappe di Fig. 2, si nota una significativa complementarità delle due secondo ampie aree contigue. Aree ad elevata frequenza di valori elevati del CAPE mostrano basse frequenze di ∇Q , in maniera indipendente dalla latitudine. Mentre, infatti, elevate frequenze del CAPE si hanno in prossimità del mare e/o in aree non mascherate da barriere orografiche, elevate frequenze di ∇Q si hanno in corrispondenza degli Appennini, in corrispondenza del Veneto e sul versante adriatico degli Appennini.

5. CONCLUSIONI

A partire dall'archivio pluviometrico delle massime piogge giornaliere sono state individuate, su tutta la penisola italiana, cinque aree dove la frequenza degli eventi estremi è maggiore rispetto al resto del paese. Per determinare la tipologia prevalente delle precipitazioni su ciascuna area sono stati calcolati due indici: CAPE e ∇Q , ai quali possono essere associate rispettivamente piogge convettive e piogge stratiformi. La distribuzione dei due indici sulla penisola costituisce, in linea generale, una mappa della pericolosità rispetto alle caratteristiche dell'evento estremo atteso. Ad esempio, aree con elevata frequenza di alti valori del CAPE, esprimono propensione ad eventi di tipo convettivo.

È bene comunque mettere in evidenza alcuni limiti dell'indagine svolta, che conducono alle scelte descritte nel paragrafo 4. L'origine delle precipitazioni che coinvolgono ampie aree della penisola è prevalentemente del tipo stratiforme. Gli eventi analizzati sono da considerarsi quindi prevalentemente stratiformi. Ulteriori disomogeneità sono presenti nella distribuzione territoriale delle stazioni interessate dagli eventi. Poiché nel sud della penisola e nelle isole, valori estremi dovuti a fenomeni convettivi sono più frequenti che nel nord del paese, la numerosità dei dati nel meridione è inferiore. I fenomeni convettivi, nella gran parte dei casi, tendono ad interessare aree molto limitate del territorio, per cui i criteri adottati nella di scelta degli eventi penalizza questa categoria. Infine, sia per la presenza di poche stazioni in Lombardia che per i pochi eventi meteo che hanno interessato il Piemonte, i risultati in queste due regioni sono tutti da verificare.

Nonostante queste limitazioni, comunque, la mappa (Fig. 2) ottenuta attraverso questa analisi meteorologica, rispecchia abbastanza fedelmente le aree della penisola note per il ripetersi di eventi estremi molto intensi, concentrati nel tempo e nello spazio, quali: Liguria, alta Toscana, basso Ionio calabrese, provincia di Messina. In queste regioni, la presenza di piccoli bacini ad elevato dissesto idrogeologico, unitamente ad elevate pendenze, favorisce la formazione di flash-flood capaci di causare eventi catastrofici quali quello

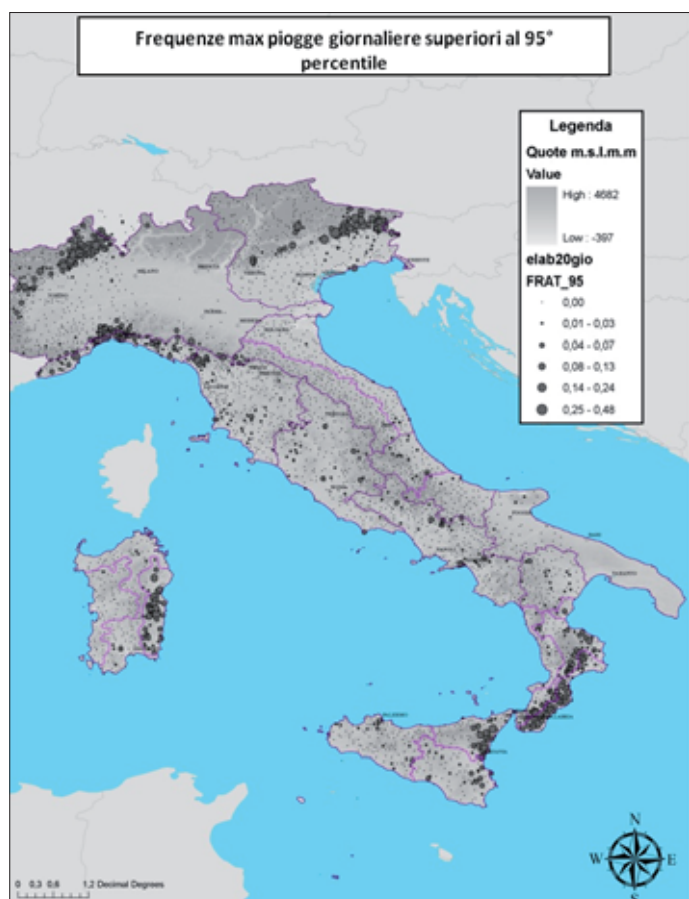


Figura 1 – Frequenza massime piogge giornaliere superiori al 95° percentile.

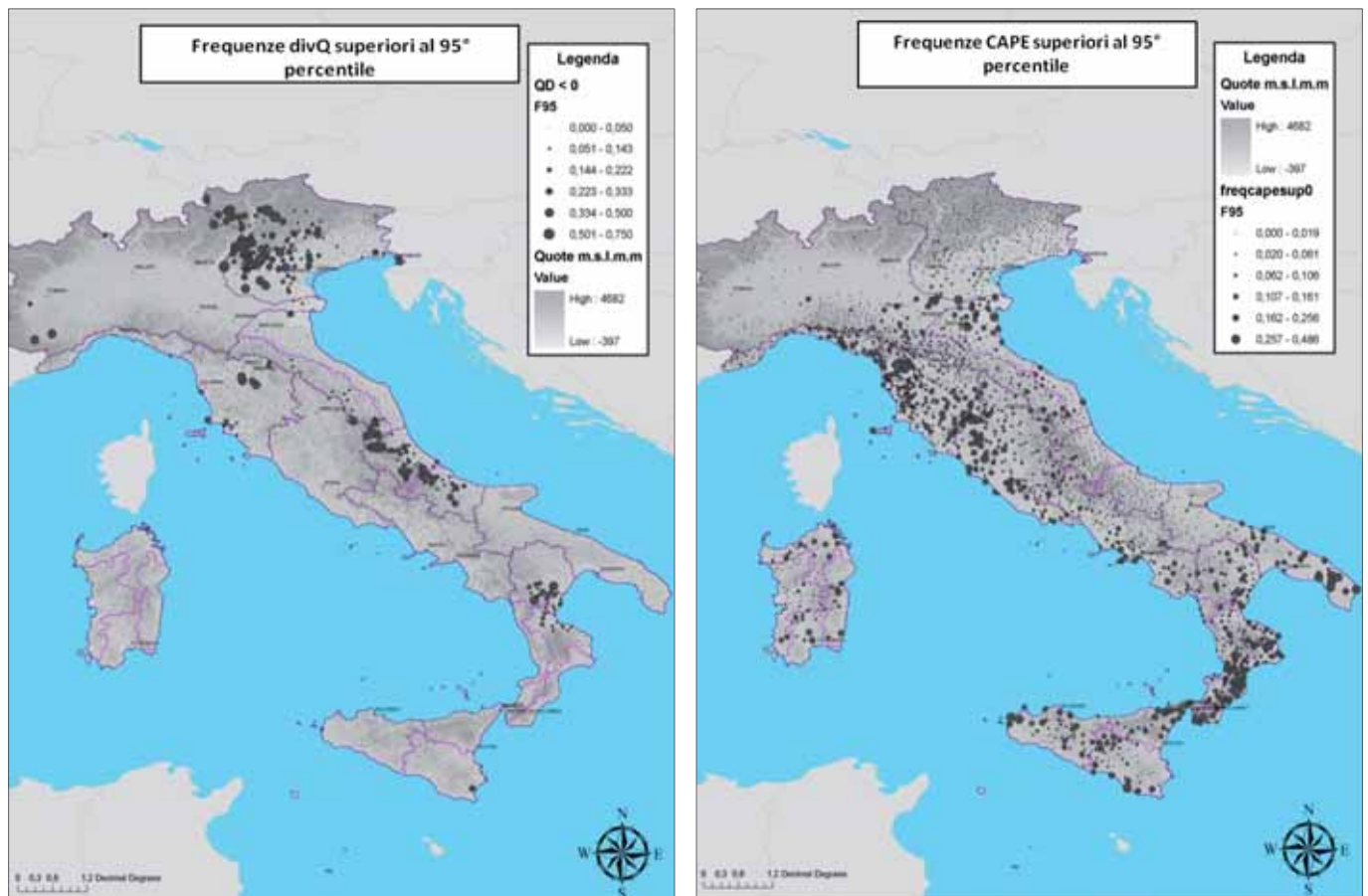


Figura 2 – Mappa delle frequenza dei valori del CAPE e di ∇Q superiori al 95° percentile.

avvenuto di recente in provincia di Messina. Analogamente, territori interessati da elevate frequenze di ∇Q , sono soggetti a piogge prolungate nel tempo che interessano, in genere, elevate estensioni di territori. In presenza di bacini medio/grandi, tali precipitazioni innescano fenomeni alluvionali che, nelle aree di pianura, producono esondazioni e gravi danni all'agricoltura ed alle infrastrutture causando raramente, per fortuna, danni alle persone. Le mappe del ∇Q concordano con le notevoli alluvioni che si sono verificate quest'inverno nel Veneto, Marche-Abruzzo e Basilicata interessate da prolungate precipitazioni che hanno fatto esondare i tratti terminali di corsi d'acqua di bacini di medie dimensioni.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- CHARNEY J.G. (1947), *The dynamics of long waves in a baroclinic westerly current*. Journal of Meteorology, 4, 135-162.
- DAVIS C.A., KERRY A.E. (1991), *Potential Vorticity Diagnostics of Cyclogenesis*. Mon. Wea. Rev., 119, 1929-1953.
- DOSWELL III C.A., RASMUSSEN E.N. (1994), *The Effect of Neglecting the Virtual Temperature Correction on CAPE Calculations*. Wea. Forecasting, 9, 625-629.
- DURRAN D.R., SNELLMAN L.W. (1987), *The diagnosis of synoptic-scale vertical motion in an operational environment*. Wea. Forecasting 2: 17-31.
- FANKHAUSER J.C. (1988), *Estimates of thunderstorm precipitation efficiency from field measurements in CCOPE*. Mon. Wea. Rev., 116, 663-684.
- EADY E. (1949), *Long waves and cyclone waves*. Tellus, 1, 33-52.
- FERRIER B.S., SIMPSON J., TAO W.-K. (1996), *Factors responsible for precipitation efficiencies in mid-latitude and tropical squall simulations*. Mon. Wea. Rev., 124, 2100-2125.
- GABRIELE S. (1998), *L'archivio Dati Sivapi, Rapporto interno*, CNR-IRPI, Rende.
- HALVERSON J.B., FERRIER B.S., RICKENBACH T.M., SIMPSON J., TAO W.-K. (1999), *AN ENSEMBLE OF CONVECTIVE SYSTEMS ON 11 FEBRUARY 1993 DURING TOGA COARE: MORPHOLOGY, RAINFALL CHARACTERISTICS, AND ANVIL CLOUD INTERACTIONS*. Mon. Wea. Rev., 127, 1208-1228.
- HOSKINS B.J., DRAGHICI I., DAVIES H.C. (1978), *A NEW LOOK AT THE W-EQUATION*. Quart. J. R. Met. Soc., 104, 31-38.
- HOSKINS B.J., PEDDER M.A. (1980), *The diagnosis of middle latitude synoptic development*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 106, 707-719.
- HOUBE, R.A., (1993), *Cloud Dynamics*. Academic Press.
- HOUBE R.A. (1997), *Stratiform Precipitation in Regions of Convection: A Meteorological Paradox?*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 2179-2196.
- HOUGHTON H.G. (1968), *On precipitation mechanisms and their artificial modification*. J. Appl. Meteor., 7, 851-859.
- ITURRIOZ I., HERNÁNDEZ E., RIBERA P., QUERALT S. (2007), *Instability and its relation to precipitation over the Eastern Iberian Peninsula*. Adv. Geosci. 10, 45-50.
- JUSEM J.C., ATLAS R. (1998), *Diagnostic evaluation of vertical motion forcing mechanisms by using Q-Vector partitioning*. Mon. Wea. Rev., 126, 2166-2184.
- KOCH S.E., HAMILTON D., KRAMER D., LANGMAID A. (1998), *Mesoscale Dynamics in the Palm Sunday Tornado Outbreak*. Mon. Wea. Rev., 126, 2031-2060.
- KOGAN Y.L., KHAIRUTDINOV M.P., LILLY D.K., KOGAN Z.N., LIU Q. (1995), *Modeling of stratocumulus cloud layers in a large eddy simulation model with explicit microphysics*. J. Atmos. Sci., 52, 2923-2940.
- LEARY C. A., HOUBE R.A.JR. (1979), *The structure and evolution of convection in a tropical cloud cluster*. J. Atmos. Sci., 36, 437-457.
- LORENTE P., HERNÁNDEZ E., QUERALT S., RIBERA P. (2008), *The flood event that affected Badajoz in November 1997*. Advances in Geosciences 16, 73-80.
- MANZATO A., MORGAN G.JR. (2003), *Evaluating the sounding instability with the Lifted Parcel Theory*. Atmos. Res., 67-68, 455-473.
- MONCRIEFF M.W., GREEN J.S.A. (1972), *The propagation and transfer properties of steady convective overturning in shear*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 98(416), 336-352.
- MONCRIEFF M.W., MILLER M.J. (1976), *The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines*. Q. J. R. Meteorol. Soc., 120, 373-94.
- SAVIC-JOVVIC V., STEVENS B. (2008), *The Structure and Mesoscale Organization of Precipitating Stratocumulus*. J. Atmos. Sci., 65, 1587-1605.
- TAO W.-K., LANG S., SIMPSON J., ADLER R. (1993), *Retrieval algorithms for estimating the vertical profiles of latent heat release: their applications for TRMM*. J. Meteorol. Soc. Jpn. 71, 685-700.
- TRENBERTH K.E., GUILLEMOT C.J. (1994), *The total mass of the atmosphere*. J. Geophys. Res., 99, 23 079-23 088.
- TRENBERTH K.E., GUILLEMOT C.J. (1998), *Evaluation of the atmospheric moisture and hydrological cycle in the NCEP/NCAR reanalyses*. Climate Dyn., 14, 213-231.
- UPPALA S. M. (2001), *ECMWF Reanalysis, 1957-2001*. Proc. ECMWF Workshop on Reanalysis, ERA-40 Project Rep. Series 3, Reading, United Kingdom, ECMWF, 1-10.
- ZIPSER E.J. (1977), *Mesoscale and convective-scale downdrafts as distinct components of squall-line circulation*. Mon. Wea. Rev., 105, 1568-1589.

Cause dell'evento alluvionale del 19 ottobre 2010 nel bacino del Torrente della Grazia (Tropea, Calabria)

FABIO LETTO
Dipartimento di Scienze della Terra, Unical (CS)
e-mail: iettofabio@hotmail.com

201

PREMESSA

L'evento meteorico verificatosi nella provincia di Vibo Valentia, la notte tra il 18-19 ottobre 2010, non è da annoverare tra quelli eccezionali per la quantità d'acqua caduta nell'arco delle 24 ore. Tuttavia l'intensità delle piogge, in un arco di tempo ristretto (3-4 ore), è stata tale da causare una situazione critica in tutta la rete idrografica del territorio compreso tra gli abitati di Tropea e Zambrone marina. L'abbondante trasporto di detriti rocciosi e vegetali ha quindi messo in ulteriore crisi il deflusso delle acque che, in molti casi, è stato ostacolato da interventi antropici impropri facilitandone l'esondazione. I principali danni sono stati registrati lungo la fascia costiera dell'abitato di Tropea per l'esondazione delle acque del Torrente della Grazia che, oltre agli ingenti danni all'area portuale e alla viabilità, ha causato la perdita di una vita umana.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La geologia dell'area (Fig. 1) risulta caratterizzata da un substrato relativo costituito dal complesso granitico del M.te Poro di età Paleozoica (Unità di Polia-Copanello in Amodio Morelli *et alii*, 1976; Unità di Stilo in Lorenzoni & Zanettin Lorenzoni, 1979; Lorenzoni *et alii*, 1980, 1983), su cui poggiano in trasgressione sedimenti terrigeni miocenici. Quest'ultimi sono costituiti da sabbie quarzose, non gradate, evolventi verso l'alto ad arenarie a cemento carbonatico con consistenza maggiormente lapidea. Al di sopra delle arenarie mioceniche, che costituiscono le maggiori superfici terrazzate, si rilevano esili coperture detritico-eluviali continentali e suoli vegetali. Per quanto concerne i graniti di substrato, questi si presentano fortemente cataclastici e degradati da antichi processi di *weathering* (Guzzetta, 1974; Calcaterra *et alii*, 1993) fino ad assumere l'aspetto di un silt biancastro con diffuse masse argillificate talora di colore verde. Tali caratteristiche, rinvenute anche in zone di sbancamento da cava, coinvolgono spessori anche fino ai 50 m e oltre.

A partire dal Pleistocene medio il forte sollevamento regionale (Miyachi *et alii*,

1994; letto & Bernasconi, 2005; Cucci & Tertulliani, 2006) ha coinvolto anche il massiccio del M.te Poro con valori di +1,6 mm/a negli ultimi 10.000 anni circa (Antonoli *et alii*, 2006). Conseguenza diretta è rappresentata da un'elevata energia di versante, particolarmente intensa lungo i pendii del Torrente della Grazia impostato per lo più su evidenti direttrici tettoniche (letto, in stampa).

Il forte sollevamento del promontorio di Capo Vaticano ha inoltre portato all'interpretazione (letto *et alii*, 2002; letto, in stampa) che il substrato cristallino del M.te Poro, con le relative coperture sedimentarie neogeniche, abbia assunto una configurazione cupolare con massimi di inarcamento nelle aree comprese tra gli abitati di Tropea e Zambrone. Risulta pertanto conseguenziale che i terreni di copertura rispondano ai veloci processi di sollevamento crostale con una rapida evoluzione morfo-tettonica (letto, in stampa). Le evidenze, a tal proposito, si rinvergono lungo i pendii, in sinistra e destra idrografica al Torrente della Grazia, disarticolati parallela-

mente alla valle da vistosi *trench* beanti fino a 15-20 m (Fig. 2 e 3). Questi contribuiscono, pertanto, all'innescò di una diffusa franosità, con prevalenti cinematismi da crollo e ribaltamento lungo i ripidi fianchi dell'incisione torrentizia. Basculamenti in contropendenza caratterizzano inoltre ampie aree terrazzate recenti, soggette a scivolamenti di tipo roto-traslazionale (Varnes, 1978).

Dalle evidenze di terreno appare che i volumi rocciosi disarticolati dai *trench* e dai fenomeni di collasso gravitativo ad essi associati, si limitano ai soli terreni di copertura neogenici. La sovrapposizione, quindi, di terreni a comportamento rigido (arenarie) su terreni a comportamento duttile (graniti alterati e argillificati), nonché l'elevata energia di versante originata dal recente e rapido sollevamento tettonico, rappresentano le cause principali di una diffusa fratturazione e disarticolazione delle litologie sommitali con cinematismi di tipo *lateral spreads* (letto, in stampa). Fenomeni, questi, soggetti a continua evoluzione come dimostrano i tagli

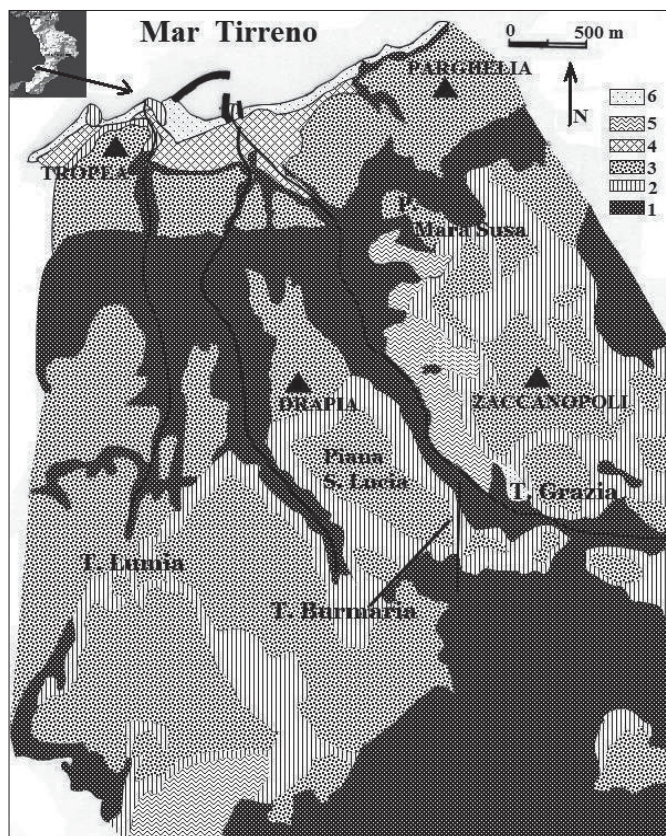


Figura 1 – Carta Geologica schematizzata: 1) complesso di rocce granitiche (Paleozoico); 2) sedimenti miocenici costituiti da sabbie quarzose evolventi ad arenarie; 3) coperture detritico-eluviali continentali; 4) alluvioni fissate dalla vegetazione; 5) detriti di frana; 6) depositi di litorale.



Figura 2 – Versante in destra idrografica al Torrente della Grazia interessato da un vistoso trench, con sviluppo verticale di circa 100 m, e diffusi fenomeni gravitativi.

freschi lungo le pareti di alcuni *trench*, presenza di diffuse fratture beanti rilevate al suolo, nonché blocchi di arenarie, anche di considerevoli volumetrie, disseminati lungo i versanti.

2. BACINO IMBRIFERO DEL TORRENTE DELLA GRAZIA

Il bacino imbrifero del Torrente della Grazia ha una superficie di circa 70 km² e si estende lungo il versante settentrionale del massiccio del Poro fino ad una quota di circa 550 m s.l.m. La quasi totalità del corso d'acqua è incassata profondamente nei graniti di substrato fortemente alterati e quindi facilmente erodibili, in cui la pendenza d'alveo raggiunge valori del 8-9%. Tali percentuali si riducono notevolmente solo in prossimità della foce, allorché il corso d'acqua raggiunge la piana costiera costituita dalle coperture sedimentarie neogeniche e quaternarie.

L'analisi della struttura geometrica del reticolo fluviale, eseguita secondo i parametri di Horton (1945), ha evidenziato l'esistenza di un basso grado di gerarchizzazione finale con valore pari a 3. Tale valore è indice di una scarsa organizzazione del bacino imbrifero e, quindi, un'alta suscettibilità a subire significative modificazioni; caratteristica che si riflette sulla possibilità di elevato trasporto solido ad opera delle acque.

L'analisi dello stato di equilibrio geomorfico (Strahler, 1952a, 1952b, 1964) del bacino imbrifero, eseguita mediante la costruzione della relativa curva ipsometrica (Fig.4), denota una concavità rivolta verso il basso a cui corrisponde un alto valore dell'integrale ipsometrico (>0,5). Tale dato indicherebbe una condizione geomorfica del reticolo in fase giovanile (o stadio di inequilibrio), in cui i processi erosivi tendono principalmente a manifestarsi verticalmente, favorendo la presenza di versanti acclivi dominati da diffusa instabilità. Tale condizione risulta coerente

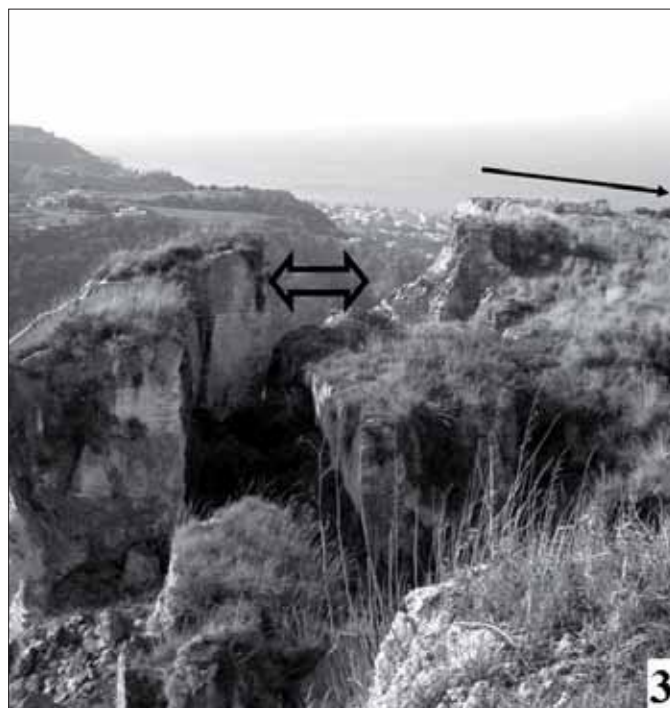


Figura 3 – Trench parzialmente riempiti da detriti, disposti parallelamente alla valle del Torrente della Grazia. La freccia sullo sfondo indica il basculamento in contropendenza di una superficie ribassata.

con l'elevato tasso di sollevamento tettonico, a cui è solitamente legato un continuo ringiovanimento della rete idrografica con conseguente scarso grado di gerarchizzazione.

Le condizioni geomorfologiche del Torrente della Grazia e dei relativi versanti sottesi evidenziano, quindi, una generale predisposizione ai fenomeni di collasso gravitativo. Risulta pertanto concreta la possibilità di ingenti apporti di materiale solido nella sezione d'alveo fino a creare naturali ostruzioni, più o meno parziali, al deflusso fluviale. In un tale contesto appare evidente che qualsiasi elemento artificiale, in grado di ridurre e/o modificare la sezione libera del greto, può costituire sbarramento con conseguenze di gran lunga superiore all'elemento causale.

è stato quantizzato mediante l'ausilio della stazione pluviometrica ubicata nell'abitato di Zungri (quota 550 m s.l.m.), ai margini del perimetro di testata del bacino (Fig. 5). Dall'analisi dei dati risulta che gli apporti cumulati giornalieri, nei giorni 18 e 19 ottobre, sono stati rispettivamente di 127 e 80 mm. Il confronto di tali valori con l'analisi storica dei massimi giornalieri, disponibile per la stessa stazione dal 1941 (Tab. 1), evidenzia la presenza di precipitazioni di gran lunga più intense di quelle verificatesi nel recente evento (1954: 150mm; 1973: 140mm).

Analizzando in dettaglio i valori meteorologici, risulta che le precipitazioni cumulative massime nelle 3 e 6 ore sono state rispettivamente di 78,6 mm (ore 20-23 del giorno

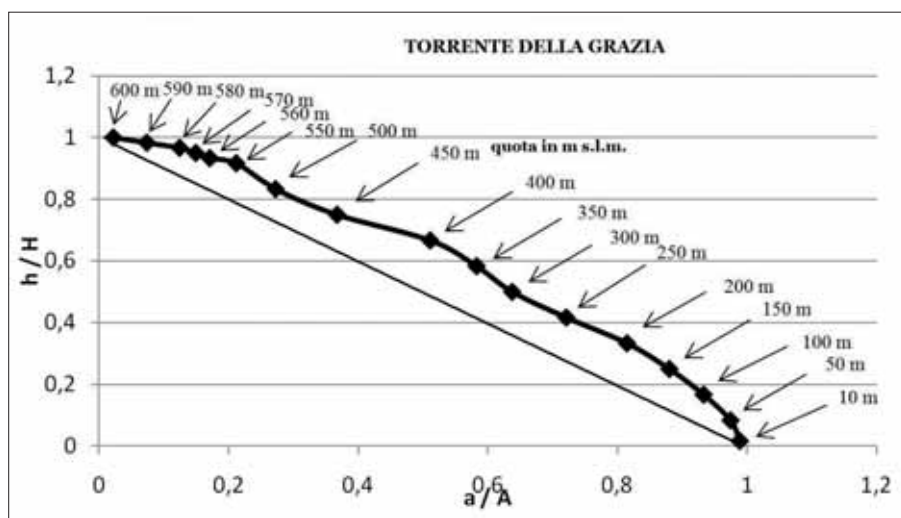


Figura 4 – Curva ipsometrica del Torrente della Grazia da cui si evince la condizione di inequilibrio geomorfico del reticolo.

3. PRECIPITAZIONI PLUVIOMETRICHE

L'evento pluviometrico manifestatosi nella notte tra il 18 e il 19 ottobre 2010, causando l'esondazione del Torrente della Grazia,

18) e 95,2 (ore 20-02 tra il giorno 18 e 19). Non è stato possibile confrontare tali valori con i dati storici in quanto non disponibili per la stazione di Zungri. Tuttavia un confronto con



Figura 5 – I punti neri indicano le stazioni pluviometriche presenti al contorno del bacino imbrifero del Torrente della Grazia.



Tabella 1 – Serie storica dei valori massimi giornalieri registrati dal 1941 nella Stazione di Zungri, da cui si evince la presenza di eventi pluviometrici maggiori al 18/10/10.

le precipitazioni storiche di durata 3 e 6 ore è stato eseguito utilizzando i dati della stazione pluviometrica di Tropea (Tab.2), in funzione fino al 2004. Tale comparazione di dati, seppure scientificamente impropria data la diversa ubicazione geografica e altimetrica delle relative stazioni, può comunque fornire un'indicazione utile per la caratterizzazione dell'evento recente.

nalieri registrati nelle stazioni pluviometriche ubicate al contorno (Fig. 5). Tale indagine ha fornito i seguenti risultati: stazione di Capo Vaticano: 47 mm/24 ore; Stazione di Joppolo: 72 mm/24 ore; stazione di Mileto: 80 mm/24 ore; stazione di Vibo Valentia: 92 mm/24 ore. In tutti i casi, i valori registrati, risultano di gran lunga inferiori rispetto l'area alluvionata e rientrano comunque nella casistica di preci-

delle acque (Fig. 6).

Da un confronto fotografico, periodo 2003-2009 (Fig. 7 e 8), risulta evidente l'entità del trasporto solido e dell'effetto diga esercitato dall'impianto di depurazione. Infatti è possibile notare come l'altezza del muro perimetrale a monte dell'impianto, a 6 anni dalla sua realizzazione, si sia ridotta dai 200 cm originari a poco più di 40 cm, renden-

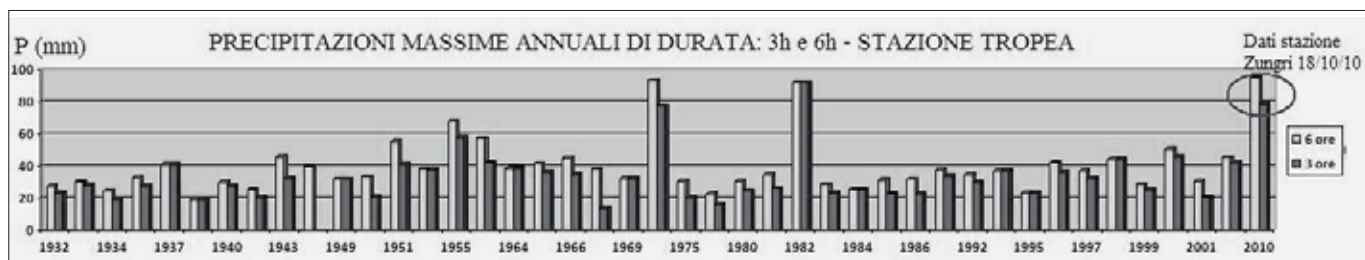


Tabella 2 – Serie storica dei valori cumulati 3 e 6 ore registrati dal 1932 nella Stazione di Tropea e confrontati con i dati del 18/10/10 registrati per la stazione di Zungri.

Dal confronto risulta che l'evento del 18/10/10 è al limite dell'eccezionalità solo per l'intervallo cumulato più esteso (nel gennaio 1972: 93,4 mm in 6 ore). A tal riguardo se si considera che la stazione di Tropea, ubicata sul mare, è esposta ad un regime pluviometrico sicuramente inferiore alla stazione di Zungri ubicata invece a 550 m s.l.m., si può dedurre che il recente evento meteorologico rientri nella casistica delle precipitazioni abbondanti anche per gli intervalli temporali più ristretti delle 24 ore.

A testimonianza di come l'evento del 18/10/10 si sia esaurito in un'area molto confinata, è stata allargata l'indagine esaminando anche i valori meteorologici gior-

pitazioni normali o abbondanti discostandosi lungamente dall'eccezionalità.

4. L'EVENTO ALLUVIONALE

L'evento pluviometrico del 18-19 ottobre 2010, pur rientrando nella casistica degli eventi non eccezionali, ha favorito il colmo di piena e l'esondazione dell'alveo fluviale del Torrente della Grazia, causando ingenti danni lungo la fascia costiera e la perdita di una vita umana. Le abbondanti precipitazioni hanno causato l'attivazione di numerosi corpi di frana, lungo i prospicienti versanti già caratterizzati da diffusa instabilità, con elevato apporto di materiale detritico nella sezione d'alveo. Ci si riferisce a tutto il pietra-

do quindi pressoché certa, già da allora, una trascinamento delle acque e detriti all'interno dello stesso.



Figura 6 – Impianto di depurazione fognario edificato all'interno del greto del Torrente della Grazia.



Figura 7 e 8 – Torrente della Grazia: accumulo di sedimenti in prossimità del muro perimetrale di monte dell'impianto di depurazione nel periodo intercorso tra il 2003 (Fig. 7) e il 2009 (Fig. 8).



Figura 9 - Torrente della Grazia nell'ottobre 2010: l'elevato apporto di detriti ha causato il riempimento dell'intera sezione d'alveo a monte del depuratore con conseguente tracimazione del muro perimetrale.

portuale, sede dell'originaria foce attualmente deviata verso est. Ingenti sono stati quindi i danni causati dal flusso delle acque e dall'accumulo dei detriti trasportati (Fig. 11 e 12).

5. CONCLUSIONI

Quanto descritto pone in evidenza quanto sia fragile un territorio soggetto ad un marcato sollevamento orogenico coinvolgente rocce tenere o rese tali da antichi processi di *weathering*. Pertanto sia la diffusa franosità di zona, sia le condizioni di inequilibrio geomorfico della rete idrografica, costituiscono fasi di un unico processo di adeguamento teso sempre al raggiungimento di condizioni morfologiche più stabili. Ad aumentare la criticità

Tale condizione si è verificata nel recente evento pluviometrico del 18-19 ottobre 2010, allorché le abbondanti precipitazioni hanno causato un elevato apporto di materiale detritico nella ormai effimera sezione d'alveo. L'effetto è stato quindi la tracimazione del muro perimetrale con conseguente alluvionamento dell'impianto (Fig. 9) che ha fatto da sbarramento continuo al deflusso sia liquido che solido.

L'acqua di piena ha trovato come unico spazio per raggiungere il mare la sede stradale, trasformandola in un canale torrentizio ad elevata energia di flusso, travolgendo ogni cosa e causando la morte di una persona. Ingente è stato quindi il trasporto di detriti verso mare ai quali, in prossimità della foce, si sono sommati quelli provenienti dalla confluenza del Torrente Burmaria (Fig. 10).

In questa porzione urbanizzata, l'entità della massa di detriti trasportata è stata tale da mettere in crisi i sottopassi fluviali alla rete stradale, risultati del tutto insufficienti a smaltire l'ondata di piena. La conseguenza è stata quindi la formazione di un ulteriore sbarra-

mento al deflusso, sia liquido che solido, verso mare. L'acqua di piena ha trovato quindi sfogo nelle vie dell'abitato, invadendo l'intera area



Figura 10 – Torrente della Grazia: il cerchio indica l'ubicazione dell'impianto di depurazione che sbarrava completamente il naturale deflusso delle acque. Il rigato indica le aree alluvionate e le frecce la direzione della corrente di piena.

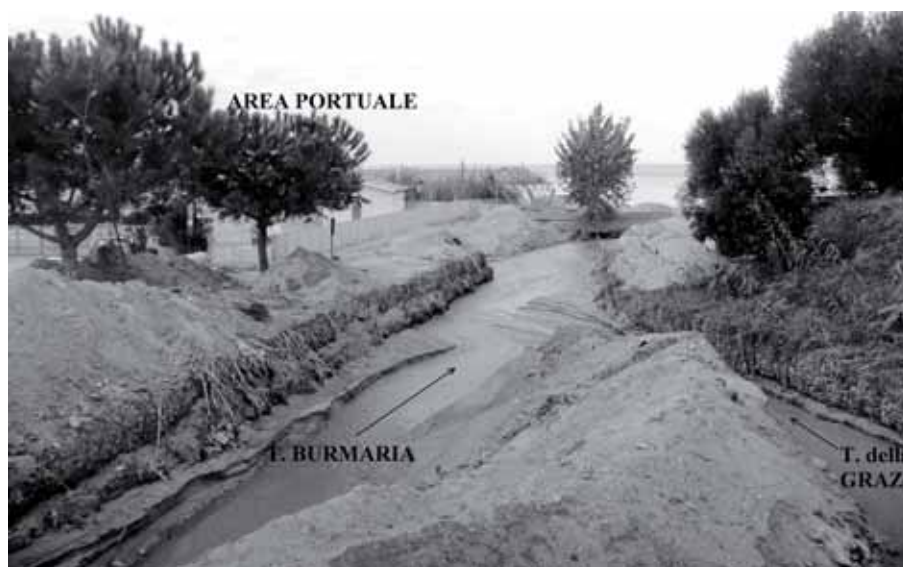


Figura 11 – Confluenza dei Torrenti Burmaria e della Grazia: evidente l'abbondante accumulo di detriti sulle sponde prodotto dall'esondazione delle acque.



Figura 12 – Accumulo di detriti eterogenei nel porto di Tropea a seguito dell'esondazione delle acque dei Torrenti Burmaria e della Grazia.

del territorio si aggiungono i fattori antropici connessi alla crescente urbanizzazione del tutto impropria e a rischio. Pertanto l'edificazione in aree golenali, gli sbarramenti parziali e la tombatura sottodimensionata dei greti, rappresentano azioni che alterano ulteriormente le già precarie condizioni di equilibrio. Ne deriva che qualsiasi abbondante evento pluviometrico, non necessariamente eccezionale, fortemente arricchito in trasporto solido e privato di una naturale e adeguata sezione di deflusso, rappresenti una potenziale condizione di pericolo con conseguenze di gran lunga superiori all'elemento causale. È questo il caso dell'evento verificatosi il 18-19 ottobre 2010, allorquando abbondanti precipitazioni meteoriche hanno attivato nel Torrente della Grazia, un flusso di acqua e detriti eterogenei provenienti da frane vecchie e di neoformazione, nonché direttamente erosi dalle acque di ruscellamento dato l'elevato stato di degradazione dei graniti. Il deflusso dell'ondata di

piena si è quindi direttamente riversato, nella sua pienezza, all'interno dell'impianto di depurazione che, edificato in pieno greto fluviale, ha di fatto sbarrato il naturale deflusso delle acque facilitandone l'esondazione. Ulteriore criticità si è verificata in prossimità della foce, dove i sottodimensionati passi stradali sono risultati del tutto insufficienti a smaltire il flusso di piena. L'effetto è stato quindi l'alluvionamento dell'intera area portuale e della rete stradale limitrofa, sommerse entrambi da una spessa coltre di detriti.

L'evento descritto testimonia come in un territorio, geomorfologicamente fragile, sconsigliati interventi di urbanizzazione possano, nel tempo, accentuare le condizioni di pericolosità a beni e persone fino a trasformare eventi meteorologici non eccezionali in catastrofi. In tale contesto, considerato che l'economia di zona è prevalentemente di tipo turistico, l'identificazione e quindi il controllo degli scenari di vulnerabilità nonché la localizzazione delle

aree a rischio, risulta essenziale al fine di consentire un uso più corretto e sicuro del territorio in un'ottica di una sua gestione sostenibile.

BIBLIOGRAFIA:

- AMODIO MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONI A., PERRONE V., PICCARRETA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI E., ZUPPETTA A. (1976), *L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*, Mem. Soc. Geol. It., 17, pp. 1-60.
- ANTONIOLI F., FERRANTI L., LAMBECK K., KERSHAW S., VERRUBBI V., DAI PRA G. (2006), *Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift rates in southern Calabria and northeastern Sicily (southern Italy, central Mediterranean sea)*. Tectonophysics, 422, pp. 23-40.
- CALCATERRA D., IETTO A., DATTOLA L. (1993), *Aspetti geomeccanici e idrogeologici di ammassi granitoidi (Serre calabresi)* - Boll. Soc. Geol. It., 112, pp. 395-422.
- CUCCI L. & TERTULLIANI A. (2006) - *I terrazzi marini nell'area di Capo Vaticano (Arco Calabro): solo un record di sollevamento regionale o anche di deformazione cosismica?* Il Quaternario, 19, pp. 89-101.
- GUZZETTA G. (1974), *Ancient tropical weathering in Calabria*. Nature, 251, 5473, pp. 302-303;
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basin; hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull.; 56 (3), pp. 275-370;
- IETTO F., VIOLA S., IETTO A. (2002) - *Un nuovo criterio di valutazione del Rischio Sismico*. Studi Geol. Camerti, 2, pp. 71-84;
- IETTO F., & BERNASCONI M.P. (2005) - *The cliff bordering the northwestern margin of the Mesima basin (southern Calabria) is of Pleistocene age*. Geogr. Fis. Dinam. Quatern., 28, pp. 205-210;
- IETTO F. (in press), "Impacts of lateral spread and hydrogeological risk patterns near Tropea (M.te Poro - Calabria, Italy)" Geogr. Fis. Dinam. Quatern.
- LORENZONI S., & ZANETTIN LORENZONI E. (1979), *Problemi di correlazione tettonica Sila-Aspromonte. Il significato dell'unità ercinica di Mandatoriccio e dei graniti ad Al₂SiO₅*. Boll. Soc. Geol. It., 98, pp. 227-338.
- LORENZONI S., ORSI G., ZANETTIN LORENZONI E. (1980), *The hercynian Range in Southeastern Aspromonte. Its relationships with the Alpine stilo Unit*. N. Jb. Geol. Paleont. Mh., 7, pp. 404-416.
- LORENZONI S., ORSI G., ZANETTIN LORENZONI E. (1983), *Metallogenesis in the tectonic units and lithogenetic environments of Calabria (southern Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., 35, pp. 411-428.
- MIYAUCHI T., DAI PRA G., SYLOS LABINI S., (1994) - *Geochronology of Pleistocene marine terraces and regional tectonics in Tyrrhenian coast of South Calabria, Italy*. Il Quaternario, 7, pp. 17-34.
- STRAHLER A.N. (1952a), *Dynamic basis of geomorphology*. Geol. Soc. Amer. Bull.; 63, pp. 923-938.
- STRAHLER A.N. (1952b), *Hypsometric (area - altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. Amer. Bull.; 63, pp. 1117-1142.
- STRAHLER A.N. (1964), *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. In: V.T. Chow, Handbook of Applied Hydrology, section 4, Mac Graw-Hill, New York.
- VARNES D.J. (1978), *Slope movements types and processes*. In Schuster R. L. & Krizek R. J. Ed.: *Landslides, analysis and control*. Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, pp. 11-33.

I dissesti di Fiumefreddo Bruzio (Calabria)

GIOACCHINO LENA
SIGEA

GIUSEPPINA LEPERA
A.R.P.A.Cal – Dipartimento di Cosenza

GAETANO OSSO
A.R.P.A.Cal – Dipartimento di Cosenza

RIASSUNTO

Nel corso degli inverni 2008/2009 e 2009/2010, eventi meteorologici definibili come eccezionali, hanno martoriato il già fragile territorio calabrese causando l'attivazione o la riattivazione di movimenti di versante. Lo studio qui riportato descrive una casistica di oltre 20 distinti fenomeni franosi, classificati per tipologia, tendenza evolutiva e modalità di intervento, avvenuti in un solo comune della Calabria nord-tirrenica con un'estensione di appena 30 km²: Fiumefreddo Bruzio. L'imput al lavoro è stato inizialmente dato dalle attività frenetiche che si sono succedute nel corso dei tre mesi, tra fine e inizio anno, in cui sono stati prioritari la salvaguardia del territorio e gli interventi di somma urgenza per la tutela della pubblica incolumità. La valutazione delle cause, oltre a quelle prettamente geologiche, sono da ricercarsi nelle piogge, eccedenti in alcuni casi di oltre il 50% rispetto alle serie storiche, mentre l'abbandono delle pratiche agricole di sistemazione dei fondi e, conseguentemente, la mancata manutenzione delle opere "naturali" di difesa del suolo appare come fattore fortemente incidente sulla vulnerabilità del territorio e sul rischio idrogeologico.

PREMESSA

Durante l'inverno 2008/2009 così come in quello successivo, l'Italia meridionale e, soprattutto, la Calabria, hanno subito una serie di eventi piovosi associati all'attivazione o alla riattivazione di fenomeni franosi definibili come di straordinaria intensità e ricorrenza. Basti pensare, oltre alle colate di fango di Giampilieri in Sicilia e di Atrani in Costiera Amalfitana, alla eco mediatica della frana di Maierato o a quella sulla A3 nei pressi di Rogliano, in Calabria.

Tutti i dati raccolti ed elaborati negli anni riguardanti i censimenti delle frane, già ampiamente noti, attestano come la regione Calabria sia stata continuamente soggetta a gravi fenomeni di dissesto idrogeologico, tanto da occupare i primi posti in Italia con il 100% dei comuni a rischio.

Il quadro diventa ancora più grave se si considera che la frequenza storica degli even-

ti catastrofici, documentata sin dalla fine del primo millennio, assume rilevanza eccezionale già dal XVIII secolo, divenendo motivo di studio e di attività di mitigazione dopo l'Unità d'Italia quando molti centri abitati sono oggetto di provvedimenti di consolidamento e/o trasferimento a partire dal 1907 (Pellegrino e Borrelli, 2007).

La relazione seguente si riferisce unicamente a quanto è avvenuto nel territorio comunale di Fiumefreddo Bruzio (CS), dove gli eventi meteorologici hanno avuto effetti su abitazioni (agli abitanti sono state notificate ordinanze di sgombero precauzionale), sulle infrastrutture (depuratore, vasche di decantazione, ecc.) e in particolare sulle strade, molte comunali o vicinali, alcune provinciali (SP 45, ex SS 18) e una statale (SS 18); in quest'ultimo caso, i dissesti si sono verificati proprio nel momento in cui tutto il traffico veicolare era dirottato su questa arteria in seguito alla chiusura dell'autostrada A3 e della strada ionica, interrotta in più punti a causa di frane.

Gli eventi meteorologici che hanno interessato l'area di studio, nonostante la soppressione della stazione meteorologica di Fiumefreddo Bruzio nel 2005, sono stati trattati in modo mirato ed esauriente grazie alla vicina presenza delle stazioni di Amantea e Paola, distanti solo 12 km, circa. Le relazioni eventi pluviometrici/fenomeni franosi, sia pur non rigorosamente determinabili tramite modellazione matematica, sono state adeguatamente considerate e valutate. La corrispondenza pioggia-frana risulta comunque esattamente verificata tanto da poter considerare gli eventi meteorologici, in alcuni casi superiori per oltre il 50% rispetto ai valori medi calcolati dalle serie storiche, quale con-causa preparatoria e/o determinante dell'attivazione (o della riattivazione) dei movimenti di versante.

La relazione è stata inizialmente redatta in concomitanza o nell'immediatezza degli eventi: essa rappresenta, perciò, non solo una preliminare trattazione dei fenomeni franosi dal punto di vista tecnico-scientifico (quindi attendibile), ma anche una cronaca realistica

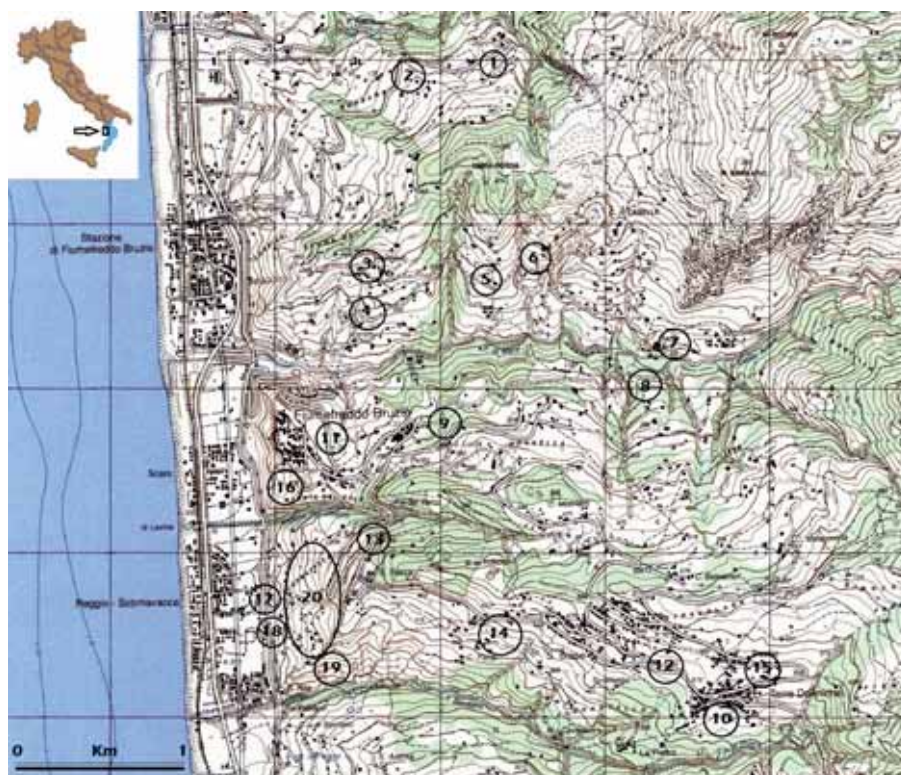


Figura 1 – Il territorio comunale di Fiumefreddo Bruzio con l'ubicazione delle frane (per la spiegazione si veda il testo).

e dettagliata delle pericolosità idrogeologiche e dei rischi incombenti sui territori e sulla popolazione nonché delle urgenze ricadenti sulle Istituzioni preposte al governo del territorio e alla risoluzione delle problematiche di protezione civile.

1. IL TERRITORIO DI FIUMEFREDDO BRUZIO

Il territorio comunale di Fiumefreddo Bruzio (Cosenza) è ubicato sulle propaggini occidentali della Catena Costiera, sistema montuoso che si estende in direzione meridiana, parallelamente al mar Tirreno, delimitato tra il Passo dello Scalone (770 m slm), a nord, e il Fiume Savuto, 70 km più a sud. La sua superficie, estesa appena 30,55 km², si sviluppa completamente sul versante occidentale della Catena e, dalla riva del mare, giunge fino alla sommità del Monte Cocuzzo (1541 m slm), la cima più alta della costa tirrenica della Calabria.

La pianura costiera, di forma stretta e allungata, si estende in senso meridiano ed è costituita dai depositi sabbioso-gliaiosi dell'Olocene. Verso monte è limitata da un brusco cambio di pendenza dovuto ad una evidente lineazione tettonica che staglia la base dei primi contrafforti rocciosi della Catena.

Nell'area compresa fra 200 e 500 m slm si sviluppano il centro storico e i più importanti nuclei abitati della campagna: Badia, Donnella, Santa Lucia, San Biase, Terre Donniche.

In questa fascia altimetrica, intensamente abitata, la morfologia è relativamente dolce, caratterizzata da colline la cui continuità è interrotta dai solchi erosivi dei torrenti. Il centro storico occupa un'area pianeggiante impostata su depositi detritici del Miocene (argille marnose e calcareniti) mentre le frazioni di Donnella, Santa Lucia, San Biase e di Terre Donniche sono edificate sugli scisti e sulle loro coperture derivanti da materiali di solifluzione e alluvionali. La frazione di Badia invece si trova immediatamente a valle di un affioramento del complesso calcareo-dolomitico mesozoico basale ed è edificata su brecce di pendio cementate.

Il paesaggio è improntato a pareti scoscese tagliate dai solchi di erosione dei torrenti che precipitano a valle con percorsi tipicamente rettilinei sottesi da *patterns* sub dendritici. Allo sbocco di tutte le incisioni, anche quelle più corte, il passaggio collina-pianura è segnato da conoidi di deiezione, oggi non più attivi (Sorriso Valvo e Sylvester, 1993). Il Torrente "Fiume di Mare" mostra ancora sulla sponda destra un tratto del vecchio muro costruito quasi due secoli fa per difendere la piana costiera dalle frequenti e ricorrenti alluvioni.

Quest'area nel corso dei recenti eventi meteorologici non ha subito fenomeni di

dissesto ma è stata interessata da violente mareggiate che, spingendosi sulle strade principali della Marina, hanno invaso più volte le abitazioni che si affacciano sul mare.

2. GEOLOGIA

Per gli scopi del presente studio sono state considerati gli affioramenti relativi alle zone già indicate, ovvero dal mare fin verso i 600-700 m di quota.

In quest'area la costituzione geologica è estremamente complessa in quanto vi affiorano, dal basso verso l'alto, il basamento carbonatico delle unità Appenniniche (in finestra tettonica), le Unità Alpine cristallino-metamorfiche Europa-vergenti, costituite dalle falde delle filladi e dei gneiss biotitici e dalle relative coperture (Unità di Bagni, Castagna ecc.), le serie sedimentarie trasgressive del Miocene, rappresentate soprattutto da conglomerati e sabbie, calcareniti, calcari e argille marnose, i depositi conglomeratici e sabbiosi del Quaternario organizzati in terrazzi di vario ordine e, infine, le esigue coperture detritico-alluvionali dell'Olocene date dai prodotti di solifluzione e dai materiali di disfacimento delle rocce (Tortorici, 1982). Lo schema stratigrafico è rappresentato in figura 2.

Effetti: frana di scivolamento coinvolgente la parte superficiale del complesso metamorfico e la copertura detritica soprastante. Numerosi massi, in equilibrio precario, sono crollati sulla strada e sulla abitazione sottostante (per fortuna abitata solo durante i mesi estivi).

Opere necessarie: disgaggio massi ancora in bilico; conguaglio e modellamento della superficie del terreno in frana in modo da ridurre la pendenza; drenaggio delle acque sotterranee, spinti fino alla superficie di contatto fra la massa in movimento ed il substrato stabile (da individuare mediante sondaggi geofisici); canalizzazione delle acque superficiali mediante canalette prefabbricate; posa in opera, ai piedi della frana, di gabbioni.

3.2 FRANA IN LOCALITÀ ZIVOLA (CUTURA)

Litologia interessata: filladi

Cause: peso eccessivo per pioggia su materiali lapidei degradati.

Effetti: frana di crollo che ha interessato la strada di accesso a diverse abitazioni.

Opere necessarie: sistemazione del pendio, canalizzazione dell'acqua meteorica, inerbimento, muro di contenimento alla base della frana lungo la strada.

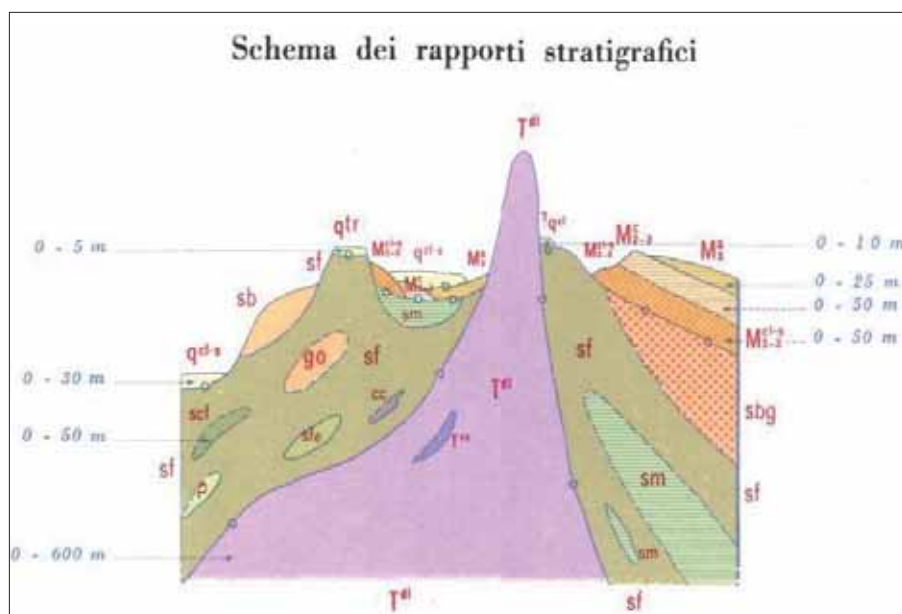


Figura 2. Schema dei rapporti stratigrafici rappresentativi per il territorio di Fiumefreddo Bruzio.

Legenda:

T^{di} = dolomie triassiche (Catena Appenninica); sf, sm, cc, p, scf, sfe, sb, sbg, go = Unità della Catena Alpina (Paleogene); Mi^{1-s}, Mi¹, Mi², Mi³, Mi⁴ = ciclo sedimentario miocenico; q^{cl-s}, q^{tr} = depositi del Quaternario (da CASMEZ, 1967).

3. GLI EVENTI DI DISSESTO

Di seguito vengono riportati i dissesti rilevati (Fig. 1), censiti in base alle classificazioni maggiormente utilizzate (AAVV, 1993; Cruden e Varnes, 1996; APAT, 1997), sono:

3.1 LOCALITÀ CUTURA/CASTAGNO

Litologia interessata: filladi e copertura detritica (Fig. 3).

Cause: dilavamento superficiale e infiltrazione di acqua nel materiale detritico sciolto.



Figura 3. Corpo di frana nelle filladi

3.3 LOCALITÀ DESTRO (CASA FRANGELLA)

Litologia interessata: materiale di disfacimento dei gneiss.

Cause: scarsa consistenza dei terreni interessati, ristagno di acqua a monte e imbibizione dei materiali sciolti.

Effetti: fratture nel manto stradale e minaccia di crollo del tombino che supera il torrente ai margini dell'area in frana.

Opere necessarie: ripristino delle opere di regimazione delle acque (una volta esistenti); sistemazione della scarpata interposta fra la strada e l'abitazione Frangella.

3.4 MASSI PERICOLANTI IN LOCALITÀ "DESTRO"

Descrizione: lungo strada interpodereale Destro-Badia-Barbaro, nella prima settimana di febbraio 2009, si è verificato il crollo di massi da una parete rocciosa che sovrasta la strada, interrompendone la sua utilizzazione. Il detrito franato è stato subito eliminato dagli operai comunali. Il processo di denudazione ha determinato lungo la superficie della parete, stimata in circa 350 m², il precario equilibrio di frammenti di roccia e blocchi di piccole dimensioni, nonché di un grosso masso con dimensioni di 6-7 m³, a circa 10 m di altezza rispetto alla sede stradale (poi rimosso, Fig. 4), che minacciava di crollare sia sulla strada sia, soprattutto, su una abitazione ubicata subito a valle, con pericolo per la pubblica incolumità. L'abitazione è stata prontamente sgomberata con apposita ordinanza, ma resta il problema urgente della sua agibilità e di quella della sede stradale percorsa quotidianamente da numerose automobili e dagli scuolabus.

Una ulteriore complicazione è data dal tubo dell'acquedotto regionale, ubicato immediatamente a monte, che potrebbe essere coinvolto dalla caduta e, quindi, rompersi con ulteriori conseguenze sia per il contributo all'instabilità sia per le attività di protezione civile.

Litologia: complesso molto tettonizzato di filladi grigio scure e di calcari finemente cristallini, ricoperti superiormente da gneiss biotitici, anch'essi molto fratturati e tettonizzati.

Cause ed effetti: le piogge intense e prolungate cadute fra novembre 2008 e marzo 2009 hanno asportato lo strato di terreno vegetale che, sia pur limitatamente, contribuiva ad esercitare una certa resistenza del versante, determinando in tal modo le condizioni di equilibrio precario.

Opere necessarie: rimozione del masso in equilibrio instabile; pulizia dell'area con rimozione di frammenti rocciosi solidali al masso; demolizione controllata del masso; pulizia e disaggio di tutti i materiali rocciosi in equilibrio precario; posa in opera di rete paramassi.



Figura 4. Operazione di disaggio masso



Figura 5. Scarpa di frana fotografata dalla porzione di strada non ancora crollata

3.5 FRANA IN LOCALITÀ FERRERA (PROSECUZIONE DI LOC. DESTRO), PROPRIETÀ DI SANTO

La frana coinvolge solo parzialmente una abitazione ed un ovile annesso, ma si allunga notevolmente verso il basso.

Ha bisogno di uno studio accurato per poter individuare pericolosità, origine e modalità di sistemazione.

3.6 FRANA IN LOCALITÀ DESTRO

Frana di tipo complessa di scivolamento e crollo di filladi e copertura detritica di esse.

3.7 FRANA SULLA STRADA IN LOCALITÀ BADIA

Litologia interessata: copertura detritica e materiale di disfacimento delle filladi.

Cause: imbibizione per pioggia.

Effetti: scivolamento detriti sulla carreggiata stradale.

Sistemazione: rimodellazione della parete e canalizzazione delle acque.

3.8 FRANA SULLA STRADA COMUNALE FIUMEFREDDO- BADIA

Descrizione: il corpo di frana si estende dalla carreggiata stradale fino al corso d'acqua sottostante, per una lunghezza di oltre 20 metri (Fig.5). La frana, classificabile come scivolamento traslazionale, ha determinato un pendio molto ripido la cui morfologia non consente una sistemazione con riduzione della pendenza di scarpata; il fenomeno è ancora in evoluzione retrogressiva, con potenziale distruzione dell'intero tratto stradale. Allo stato sarebbe da escludere l'idea di un muro di salvaguardia/contenimento di notevoli dimensioni al piede, mentre l'allargamento della strada verso monte andrebbe opportunamente vagliata sempre in considerazione delle conseguenze che potrebbe dare un taglio del versante.

3.9 FRANA SULLA STRADA IN LOCALITÀ STRADA PIRILLO-DONNELLA

Litologie interessate: materiale detritico di disfacimento dei gneiss.

Tipo di dissesto: scivolamento.

Conseguenze: interruzione di strada comunale.

Sistemazione: riduzione delle pendenze, canalizzazione delle acque provenienti da monte, messa in opera di gabbionate su 2-3 file, piantumazione.

3.10 LOCALITÀ SERRONE (TERRE DONNICHE)

Descrizione: crollo di una parte della strada di accesso alle vasche di depurazione conseguente alla caduta dei gabbioni ivi realizzati a difesa delle opere di servizio.

Cause: i gabbioni poggiavano su materiale di disfacimento delle filladi, su detriti colluviali e alluvionali che si sono ammassati a causa delle persistenti piogge.

Litologie interessate: filladi grigio scuro con scistosità a franapoggio e relativa copertura di materiale detritico di alterazione misto a materiale alluvionale.

Opere necessarie: sistemazione della scarpata mediante terrazzamento e canalizzazione delle acque superficiali, regimazione delle acque della sorgente che si trova nei pressi della zona in frana, inerbimento con piante stolonifere a stoloni lunghi secondo i principi dell'ingegneria naturalistica, posa in opera di gabbioni poggianti sulla strada, risistemazione dei gabbioni crollati.

3.11 VIA SOPRA LE MURA

Effetti: crollo di un muro a protezione della strada.

Cause: il muro sosteneva un affioramento argilloso in precario equilibrio. I fori eseguiti nel muro sono intasati non consentendo un drenaggio adeguato. La spinta esercitata dall'acqua ha fatto crollare il muro.

Opere necessarie: ricostruzione del muro, adeguato drenaggio, regimazione e allontanamento delle acque meteoriche e superficiali.

3.12 STRADA PROVINCIALE N. 45 (EX 113)

Litologie interessate: filladi ricoperte da materiali detritici del terrazzo continentale su una antica superficie di erosione.

Fenomeno: crollo del materiale detritico e di qualche frammento della formazione rocciosa.

Effetto: interruzione della strada provinciale.

Sistemazione: eliminazione del materiale crollato sulla strada, rimessa in opera del muro di contenimento crollato, inerbimento e canalizzazione delle acque superficiali.

3.13 FRANA IN LOCALITÀ SANTA SERRA

Litologie interessate:

- filladi di colore grigio scuro, ben fogliettate, con disposizione a franapoggio;
- sabbie e conglomerati pleistocenici di colore rossastro, non fossilifere, di origine continentale, sciolte o debolmente cementate che danno luogo facilmente a fenomeni franosi.

Cause: eccessiva imbibizione per le piogge dei giorni precedenti infiltratesi sia sulla superficie del terreno (che poi è franato) sia come scolo delle acque provenienti dalla strada (Fig. 6).

Opere necessarie: canalizzazione delle acque piovane che scorrono lungo la strada provinciale con modalità diverse da quelle attuali (in caso di piogge prolungate esse non devono riversarsi nella zona più debole); sistemazione mediante gradonatura dell'area in frana in modo da mitigare l'eccessiva pendenza attuale; piantumazione di piante

erbacee con le tecniche proprie dell'ingegneria naturalistica; realizzazione di un muro a valle, lungo la strada.



Figura 6. Frana da scivolamento in località Santa Serra

3.14 FRANE IN LOCALITÀ MURAGLIE

Descrizione: gli eventi franosi, verificati nel versante meridionale di San Biase, hanno interessato tutta la strada interpoderale che da località Santa Serra conduce alla frazione disabitata di La Pietra.

Litologia interessata: formazione degli scisti filladici ricoperta localmente da alluvioni e materiali di soliflusso (Fig. 7).

Cause predisponenti: a partire dagli anni '50 del secolo scorso, tutta l'area è stata in un certo qual modo sistemata mediante muri di sostegno e canalizzazioni delle acque superficiali. L'abbandono della campagne ha avuto come conseguenza anche l'abbandono delle



Figura 7. Una delle frane in località Muraglie

pratiche di sistemazione dei versanti e delle opere rivelatesi anti-dissesto, naturalmente effettuate a suo tempo. I fori di drenaggio delle acque sotterranee e superficiali, col tempo e senza adeguata manutenzione, si sono otturati e i muri, da opere di protezione quali erano stati realizzati, sono diventati l'elemento che ha concorso ad un ulteriore dissesto.

Opere necessarie: pulizia delle canalette e dei fori di sfiato dell'acqua sotterranea e superficiale; ripristino dei muri di sostegno ove crollati o non più idonei; scoronamento della frana; terrazzamento del materiale franato.

3.15 FRANA IN LOCALITÀ SAN BIASE

Nella frazione di San Biase una frana di grandi dimensioni, facente parte di una di frana profonda, si riattiva di anno in anno e nel corso di questo inverno ha dato origine a diversi fenomeni che hanno coinvolto la SP 45 e un abitazione privata.

3.16 FRANE DEI PRIMI CONTRAFFORTI COLLINARI

Il tratto della Catena Paolana che si affaccia sulla pianura costiera è quella che è stata più colpita e dove i dissesti registrati hanno avuto conseguenze più gravi con evoluzioni parossistiche da ritenersi non ancora concluse.

Notevole disagio alla circolazione di tutta Italia è stato causato dal pericolo di crollo di massi sul percorso della S.S. 18, in corrispondenza del piazzale parcheggio di località Stazione, per il quale è stato prontamente attivato un monitoraggio in continuo. Poiché il pericolo minacciava la sede di una strada di grande comunicazione, l'ANAS ha provveduto alla rimozione del pericolo. Ciò accadeva in coincidenza con la chiusura dell'A3 nei pressi di Rogliano (CS), dopo che una tristemente famosa frana aveva causato 2 morti e 5 feriti e la chiusura della stessa autostrada.

Se si considerano anche i dissesti che, nello stesso periodo, hanno afflitto la terza arteria calabrese, ovvero la 106 ionica, si comprende la gravità della situazione idrogeologica in tutta la Calabria nonché la tempestività di intervento in quanto l'Italia risultava tagliata in due.

Sempre nello stesso comparto territoriale, si sono registrate frane da scivolamento e decorticamenti superficiali lungo il pendio immediatamente al di sotto del centro storico. Minacciano il traffico locale lungo la ex S.S. 18 che pertanto è stata chiusa al traffico.

3.17 FRANA A VALLE DI CASA BURZA

Ha interessato il tratto immediatamente a valle della casa con crollo del muro di contenimento della parete rocciosa al di sopra della ex S.S. 18 e del giardino antistante la casa (Fig. 8). Un nuovo muro fondato su pali ed eseguito a regola d'arte potrà dare risultati soddisfacenti.



Figura 8. Casa Burza

3.18 TORRELONGA.

Sia sotto la torre sia a valle della casa immediatamente confinante verso nord, si sono avuti piccoli smottamenti di terreno facilmente risanabili con muri e gabbioni.

Tipo di frana: scivolamento-colata con mobilizzazione della coltre di terreno superficiale e massi di varie dimensioni che hanno finito per colpire il muro posto a difesa dell'opera e in qualche caso l'opera stessa.



(a)



(b)

Figura 9 (a, b) – Corpo di frana (a) ed effetti sul muro di protezione e sul depuratore (b).

La prosecuzione del movimento potrebbe provocare la caduta improvvisa del masso.

4. EVENTI METEOROLOGICI

Al fine di analizzare l'andamento delle precipitazioni verificatesi nell'area interessata dai movimenti franosi, è stata effettuata la ricerca dei dati pluviometrici nell'intorno significativo dell'area di studio, registrati dalla rete di rilevamento del Centro Funzionale Strategico Multirischi dell'Arpacal (www.cfcalabria.it).

Poiché per la stazione di Fiumefreddo Bruzio i valori di pioggia sono disponibili solo fino al 2005, si è reso necessario riferirsi alle vicine stazioni pluviometriche di Amantea e di Paola, ubicate a circa 12 km, in un intorno cli-

3.19 FRANA A MONTE DEL DEPURATORE IN LOCALITÀ SANTA RITA.

Litologie interessate: complesso filladico di epizona, gneiss biotitici soprastanti e formazione detritica del terrazzo continentale.

3.20 FRANE DI LOCALITÀ VETERE, SALINELLE E DIRROIITI.

Descrizione: le frane sono avvenute nello stesso versante prima in C.da Salinelle, tra la fine di gennaio e i primi giorni di febbra-



Figura 10. Frana di località Vetere-Salinelle-Dirroiti

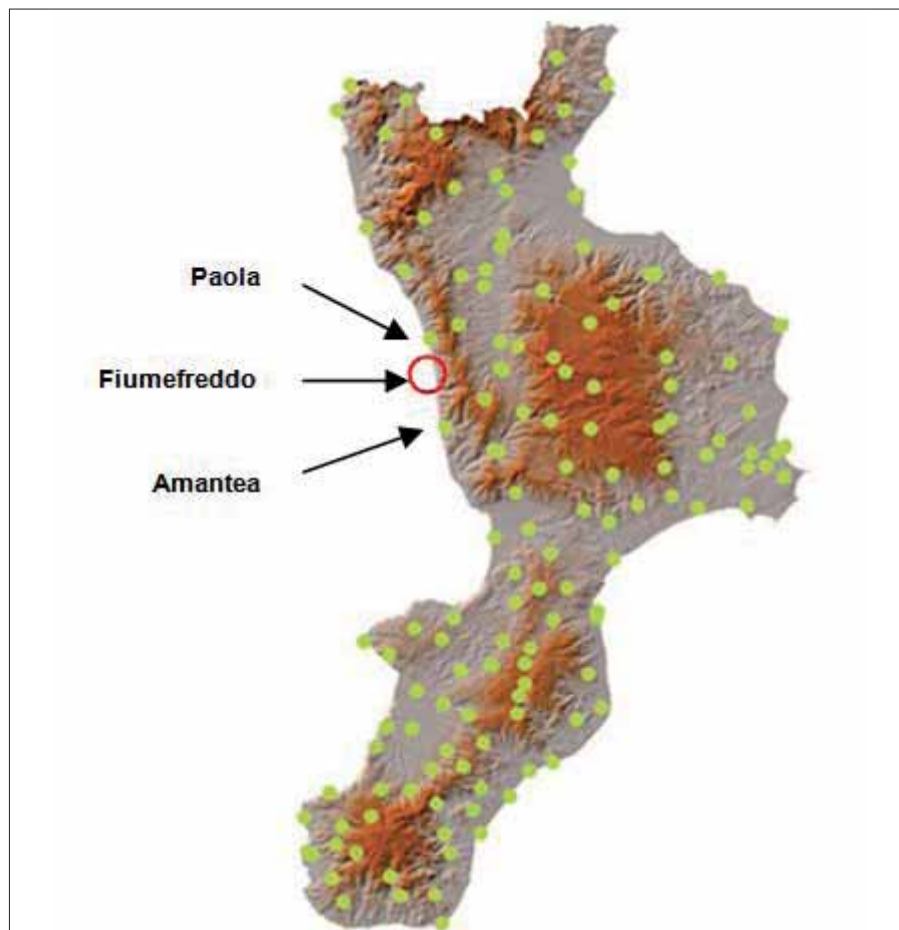


Figura 11. Ubicazione delle stazioni di misura pluviometriche

matico-territoriale (e nel contesto geologico della Catena Costiera) ritenuto rappresentativo per le successive elaborazioni. Pertanto, per la stazione di Fiumefreddo Bruzio, i dati pluviometrici relativi agli anni 2008/2009 e 2009/2010 nonché i valori medi storici fino al 2010, sono stati ricavati utilizzando il metodo di interpolazione della media pesata con l'inverso della distanza al quadrato (IDW). Tale metodo, facilmente applicabile e con bassi tempi di calcolo, si basa su un criterio legato solamente al fattore distanza orizzontale, supponendo il campo di precipitazione indipendente dalla quota. La verifica tra i valori ottenuti per interpolazione e i dati reali (disponibili fino al 2005), ha fornito risultati pressoché analoghi per cui il metodo è stato ritenuto idoneo.

Nella scelta delle due stazioni, inoltre, sono stati seguiti i criteri legati alla durata complessiva, essendo le serie storiche dei valori misurati relative ad un numero consistente di anni di funzionamento, fattore importante ai fini dell'attendibilità statistica delle stime dei valori medi.

4.1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI

Com'è noto, nelle zone a clima mediterraneo, la parte iniziale dell'anno idrologico (il periodo intercorrente tra il 1° ottobre ed il 31 marzo - semestre umido) corrisponde proprio al periodo di ricarica delle falde acquifere. In questo caso, visti gli elevati valori di pioggia verificatisi nel mese, si è ritenuto di considerare i dati a partire dal 1 settembre 2008.

Dall'analisi di tali dati risulta che il massimo valore dell'altezza di precipitazione giornaliera ad Amantea si registra nel mese di settembre, con 80 mm di pioggia. Altre precipitazioni di importante intensità si verificano nei mesi invernali (novembre, gennaio) e valgono 69,8 e 56,4 mm, rispettivamente. Per Paola, invece, il massimo valore dell'altezza di precipitazione giornaliera si registra nel mese di dicembre con 72,8 mm di pioggia. Altre precipitazioni di importante intensità si verificano nei mesi invernali (dicembre, marzo) e valgono 51,4 e 54,8 mm, rispettivamente. Inoltre a Paola è stata registrata un'altezza significativa di pioggia pari a 50,4 mm nel mese di settembre.

Dalle elaborazioni dei dati si evince che il massimo valore delle precipitazioni mensili per tutte le stazioni considerate si riscontra nel mese di gennaio, rispettivamente con 297,8 (Amantea), 293,4 (Paola) e 295,56 mm di pioggia (Fiumefreddo).

Sono stati inoltre acquisiti ed elaborati i dati pluviometrici delle stazioni di Amantea e di Paola, le cui serie storiche coprono differenti intervalli di tempo nel periodo che vanno dal 1916 al 2009, al fine di calcola-

re i valori di pioggia cumulata ($h_{cum} = h_{set} + h_{ott} + h_{nov} + h_{dic} + h_{gen} + h_{feb} + h_{mar}$) negli anni di osservazione.

L'analisi dei dati mostra che, per la stazione di Amantea, la pioggia cumulata relativa al periodo settembre 2008-marzo 2009, rappresenta il 1° caso critico negli ultimi 90 anni, mentre per la stazione di Paola rappresenta l'8° caso critico negli ultimi 86 anni e il 1° caso critico se si considerano gli ultimi 42 anni di osservazione.

serie storica delle piogge cumulate negli stessi mesi, relativamente al periodo di osservazione 1916-2009.

Si osserva come il valore cumulato superi il valore medio nel periodo di osservazione per entrambe le stazioni, a dimostrazione che nei mesi analizzati si sono registrate precipitazioni superiori alla media di lungo periodo, assunta come valore atteso di riferimento. In particolare il valore cumulato supera del 50% circa il valore medio nel periodo di osservazio-

Infatti l'andamento del grafico della cumulata nei mesi di settembre 2008-marzo 2009 è costantemente al di sopra del grafico dell'anno medio per la stazione di Amantea mentre per Paola lo è abbondantemente dal mese di dicembre in poi.

Anche per la stazione di Fiumefreddo Bruzio sembrerebbe confermata la tendenza all'aumento delle precipitazioni, a dimostrazione dello stato continuo e persistente di sollecitazione degli acquiferi da parte dell'input

Tabella 1. Confronto valori medi delle piogge cumulate del periodo con la media storica cumulata

Nome Stazione	Precipitazione media storica set-mar (mm)	Precipitazione set 08-mar 09 (mm)	Rapporto precipitazioni set 08-mar 09 / Precipitazioni media storica set-mar	Eccedenza percentuale rispetto alla media dei valori storici (%)
Amantea	726,5	1135,4	1,56	56,28
Paola	846,6	1114,6	1,31	31,65
Fiumefreddo	787,5	1065,2	1,35	35,27

Al fine di valutare se l'area di interesse sia stata caratterizzata da un generale aumento delle precipitazioni, sono stati confrontati i valori misurati nel periodo settembre 2008-marzo 2009 con la precipitazione cumulata media relativa all'intera serie dei dati.

La tabella 1 mostra i valori di pioggia cumulata h_{cum} a partire dal 1 settembre 2008 e fino al 31 marzo 2009 e i valori medi della

ne per la stazione di Amantea e del 30% circa per la stazione di Paola.

Dall'esame dei grafici riportati in figura 12, inoltre, si può osservare che, per le due stazioni di rilevamento, le precipitazioni cumulate nei mesi di settembre 2008-marzo 2009, superano quasi sempre i valori storici di pioggia cumulata nello stesso periodo, per l'anno medio (Fig. 13).

pluviometrico, verificatosi nella stagione in esame.

Considerato il susseguirsi di eventi franosi anche per l'anno successivo, sono stati analizzati anche i dati giornalieri di pioggia registrati nel periodo che va dal 1 settembre 2009 al 31 marzo 2010, nonché i valori di pioggia cumulata h_{cum} a partire dal 1 settembre 2009 e fino al 31 marzo 2010, ed i valori

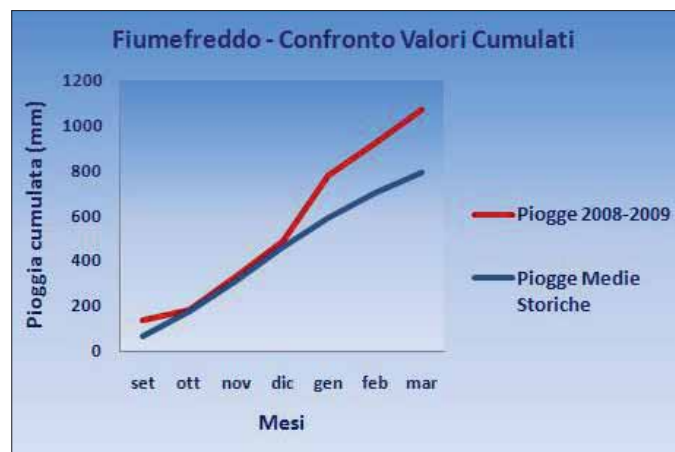
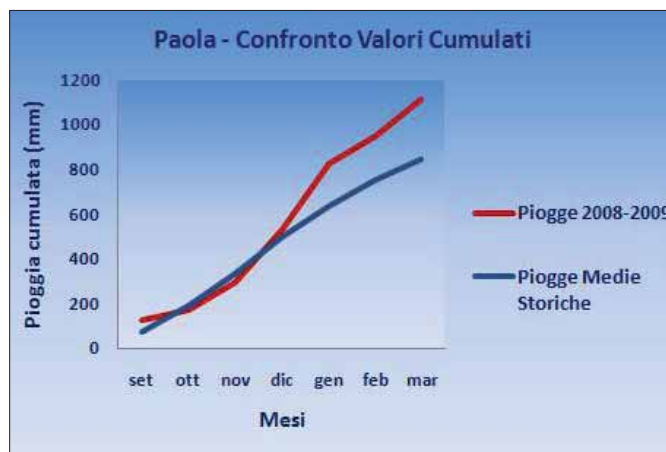
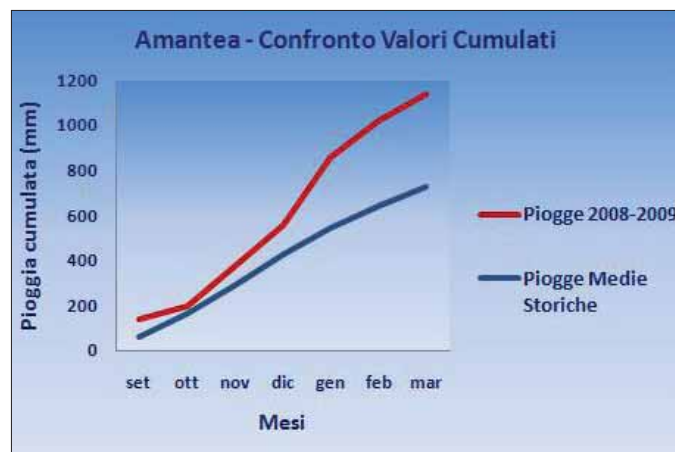


Figura 12 a, b, c. Confronto piogge cumulate (set 2008 - mar 2009) con le serie storiche per le stazioni di Amantea (a), Paola (b) e Fiumefreddo (c).

medi della serie storica delle piogge cumulate negli stessi mesi, relativamente al periodo di osservazione 1916-2010.

Dall'analisi di tali dati risulta che a Fiumefreddo Bruzio il valore massimo delle precipitazioni mensili si registra a febbraio con un valore di 201,17 mm, perfettamente coincidente con gli ultimi eventi franosi accaduti (Frane di località Vetere, Salinelle e Dirroit); si può osservare inoltre che le precipitazioni cumulate nei mesi di settembre 2009-marzo 2010, superano sempre i valori storici di pioggia cumulata nello stesso periodo, per l'anno medio.

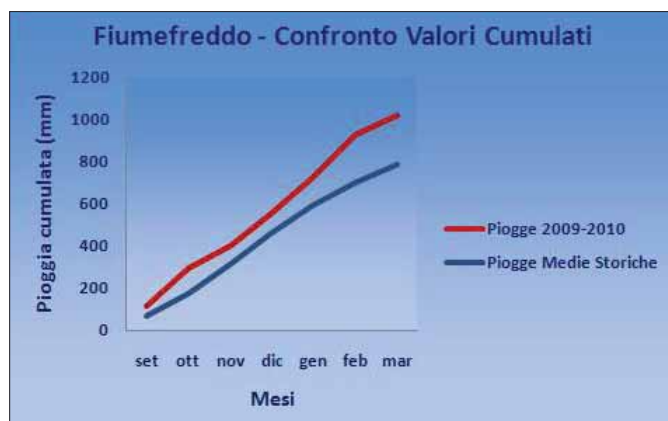
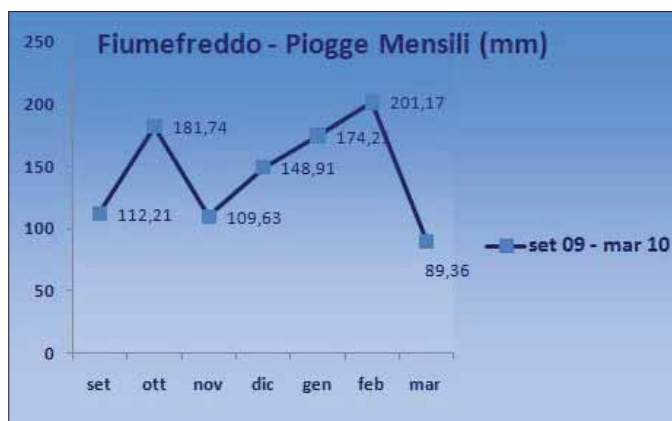


Figura 13 a, b. Piogge mensili set 2009-mar 2010 (a) e confronto con le medie storiche (b) per Fiumefreddo Bruzio.

CONCLUSIONI

I dati raccolti ed elaborati già nei primi censimenti delle frane, condotti sia a scala regionale (AA VV, 1990) sia, più di recente, a scala nazionale (APAT, 2007) nonché le indagini riferite agli ultimi aggiornamenti (AA VV, 2010), attestano come la regione Calabria sia costantemente ai primi posti della triste classifica dei dissesti idrogeologici in Italia, con il 100% dei comuni a rischio. Cause geologiche, legate alla genesi e alla costituzione dell'Arco Calabro, cause tettoniche, che ne determinano l'assetto morfo-strutturale, cause climatiche, esplicatesi con repentine e ripetute variazioni in tempi relativamente brevi, e cause antropiche, date da un uso disordinato e "incolto" del territorio, concorrono in vario modo a determinare condizioni preparatorie, sovente parossistiche, di dissesto idrogeologico.

Lo studio riportato dimostra, ancora una volta, l'estrema fragilità di un territorio costiero-collinare paradigma di una situazione comune a tutti i centri calabresi. Difficile attribuirne la causa ad un elemento piuttosto che ad un altro. Probabilmente la causa aggravante va ricercata nell'abbandono delle campagne e delle opere di sistemazione che una popolazione attiva e consapevole esercitava nelle proprie "terre" nei tempi passati; abbandono, inadeguatamente contrastato dalle politiche agricole, ma ormai da concepire e comprendere come elemento chiave della difficile "rinaturalizzazione" e conservazione del suolo e, quindi, della riduzione del rischio (Cannata, 2006). Questa popolazione vive ancora oggi negli stessi luoghi in cui abitava 1000 anni fa, ma ha altre occupazioni (generalmente di tipo terziario) e non ha tempo e voglia di controllare puntualmente se le opere di regimazione siano ancora in efficienza oppure non esistono più.

Quando le precipitazioni meteoriche superano i valori medi considerati "normali" tutto il territorio reagisce con il collasso di rocce, suoli, abitazioni ed infrastrutture. Infatti, pur non disponendo di tutti i dati necessari a stabilire matematicamente i fenomeni fisici che

avvengono nell'evoluzione del versante legati all'andamento della falda sotterranea e degli inneschi e/o movimenti in funzione degli eventi meteorici (Filice e Versace, 1990), si può senz'altro dedurre come causa preparatoria e/o determinante dei movimenti franosi debba essere attribuita anche alle precipitazioni meteoriche che, con valori in alcuni casi superiori di oltre il 50% rispetto alle serie storiche, hanno interessato tutto il territorio della Catena Costiera e, in particolare, l'area di Fiumefreddo Bruzio.

Una presenza ed un controllo del territorio sarebbero indispensabili a salvaguardare le vite umane, risparmiando danni materiali a quanto viene costruito per assicurare i cosiddetti metodi di vita più in linea con gli standard moderni.

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2007), Progetto IFFI. *Rapporto sulle frane in Italia*. rapp. APAT 78/2007. <http://www.apat.gov.it>.
- AA VV (1990), Il dissesto idrogeologico in Calabria. Studio-dossier elaborato da CNR-IRPI per conto della Regione Calabria. Comerit, Soveria Mannelli (CZ).
- AA VV (1993), Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologica – *Proposta di legenda Geomorfologica ad indirizzo applicativo*. Estratto da: Geogr. Fis. e Dinam. Quat., vol. 16 (2).
- AA VV (2010), *Ecosistema rischio 2010*. Indagine realizzata nell'ambito di "OPERAZIONE FIUMI 2010" campagna nazionale di monitoraggio, prevenzione e informazione per l'adattamento ai mutamenti climatici e la mitigazione del rischio idrogeologico di Legambiente e del Dipartimento della Protezione Civile. <http://www.legambiente.it>.
- CANNATA P. G. (2006), Bacini idrografici quindici anni dopo. Rapporto dal territorio 2005 dell'INU (a cura di Pierluigi Properzi). Cap. 8 p. 227, Inu edizioni srl Aprile 2006.
- CASMEZ (1967), Carta Geologica della Calabria, F.236 IVNE "Marano Marchesato", F.236 IVNO "San Lucido", F.236 IVSE "Monte Cocuzzo", F.236 IVSO "Fiumefreddo Bruzio" (in scala 1/25000). Poligrafica & Carte Valori, Ercolano (Napoli).
- CRUDEN D., VARNES D.J. (1996), *Landslide type and processes*. In *Landslides Investigations and Mitigation* (Ed. A.k. Tumer, R.L. Schuster). Trasp.

Res. Board, Spec. Rep. 247, 36-75.

FILICE E., VERSACE P. (1990), *Identificazione delle piogge capaci di innescare movimenti franosi*. In: Atti del XXII convegno di idraulica e costruzioni idrauliche. Cosenza, 4-7 ottobre 1990. Dip. Difesa del Suolo – Università della Calabria. Ed. Bios, 343-369.

PELLEGRINO A., BORRELLI S. (2007), *Analisi del dissesto da frana in Calabria*. In: http://www.apat.gov.it/Media/iffi/Rapporto_Frane_Italia/APAT_78_2007/Capitoli/Capitolo_23_Calabria.pdf.

PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) (2001), Autorità di Bacino Regionale. Regione Calabria. http://www.adbcalabria.it/index.php?option=com_content&task=view&id=99&Itemid=50.

SORRISO VALVO M., SYLVESTER G. A. (1993), *The relationship between geology and landforms along a coastal mountain front, Northern Calabria, Italy*. Heart Sur. Proc. and Land. Vol. 18, 257-273.

TORTORICI L. (1982), *Lineamenti Geologico - Strutturali dell'Arco Calabro - Peloritano*. Rend. SIMP, 38: 927-940.

Determinazione su base geomorfologica della suscettibilità alla *gully erosion* mediante GIS ed analisi statistica bivariata

Un caso-studio in Provincia di Benevento (Campania, Italia meridionale)

INTRODUZIONE

L'erosione idrica è responsabile della perdita di oltre il 55% del volume totale di suolo eroso a scala globale (BRIDGES & OLDEMAN, 1999). Tra le diverse fenomenologie di erosione idrica, la *gully erosion* (o "erosione per fossi") è quella in grado di rimuoverne i maggiori volumi in tempi più brevi (VALENTIN *et alii*, 2005), portando spesso all'affioramento del substrato geologico inerte, non sfruttabile per fini agricoli; da ciò deriva spesso una totale perdita di produttività, a volte con ricadute economiche drammatiche in contesti a prevalente o esclusiva vocazione agricola. Per tale motivo, appare auspicabile una pianificazione territoriale basata sull'individuazione e la distribuzione di superfici geomorfologiche diversamente propense (o "suscettibili") a sperimentare processi erosivi in base alla propria peculiare combinazione dei fattori geo-ambientali predisponenti il processo erosivo stesso ("fattori causali"; AYALEW *et alii*, 2005). Tale distribuzione può essere efficacemente rappresentata in forma grafica attraverso Carte della suscettibilità.

La letteratura scientifica è ricca di esempi e/o applicazioni di metodologie finalizzate alla determinazione della suscettibilità da frana (GUZZETTI *et alii*, 1999), mentre estremamente rari sono quelli relativi alla suscettibilità all'erosione idrica (MAGLIULO, 2010). In tutti i casi, i metodi utilizzati sono generalmente basati sull'utilizzo del GIS e dell'analisi statistica. In particolare, l'analisi statistica bivariata consente una determinazione della suscettibilità attraverso il calcolo e la successiva somma di pesi numerici, il cui valore dipende dalla densità areale delle forme di erosione nelle varie classi dei fattori causali considerati. Infatti, in accordo con la teoria delle probabilità, maggiore è la frequenza di forme di erosione in una data classe, maggiore è la propensione della classe stessa a sperimentare il processo erosivo che le ha generate; di conseguenza, è anche maggiore la probabilità che quello stesso processo possa verificarsi in futuro in quella stessa classe,

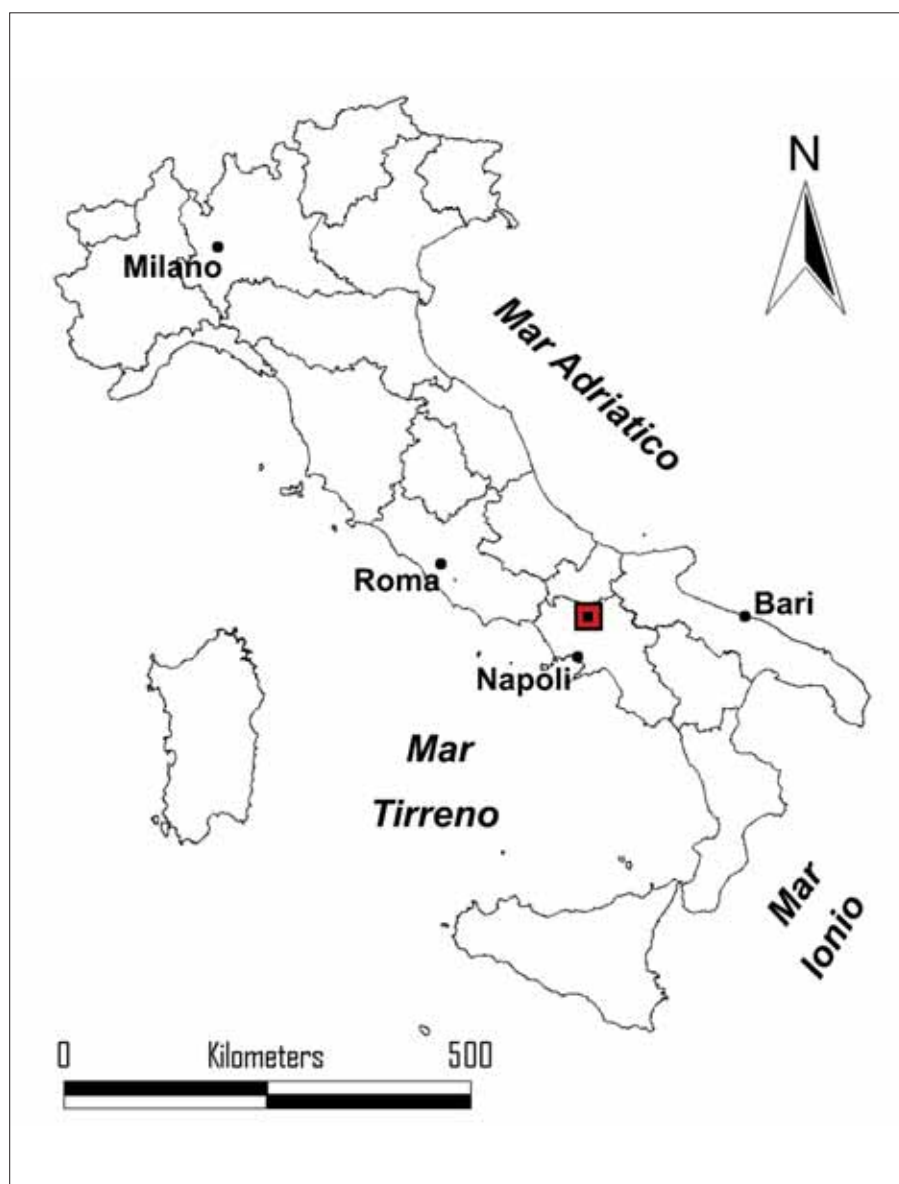


Figura 1 – Ubicazione dell'area di studio.

qualora non cambino le condizioni al contorno (CARRARA & GUZZETTI, 1995).

Nella presente nota, si riportano i risultati di uno studio finalizzato alla valutazione della suscettibilità ai processi di *gully erosion* in un'area a spiccata vocazione agricola, ubicata nel settore centro-occidentale della Provincia di Benevento (Campania, Italia meridionale; Fig. 1). In particolare, i risultati di

un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio sono stati elaborati in ambiente GIS e mediante analisi statistica bivariata.

MATERIALI E METODI

Nel presente studio, pendenza, esposizione, litologia ed uso del suolo sono stati scelti quali "fattori causali", in quanto in grado di condizionare sia l'erosività delle acque di ru-

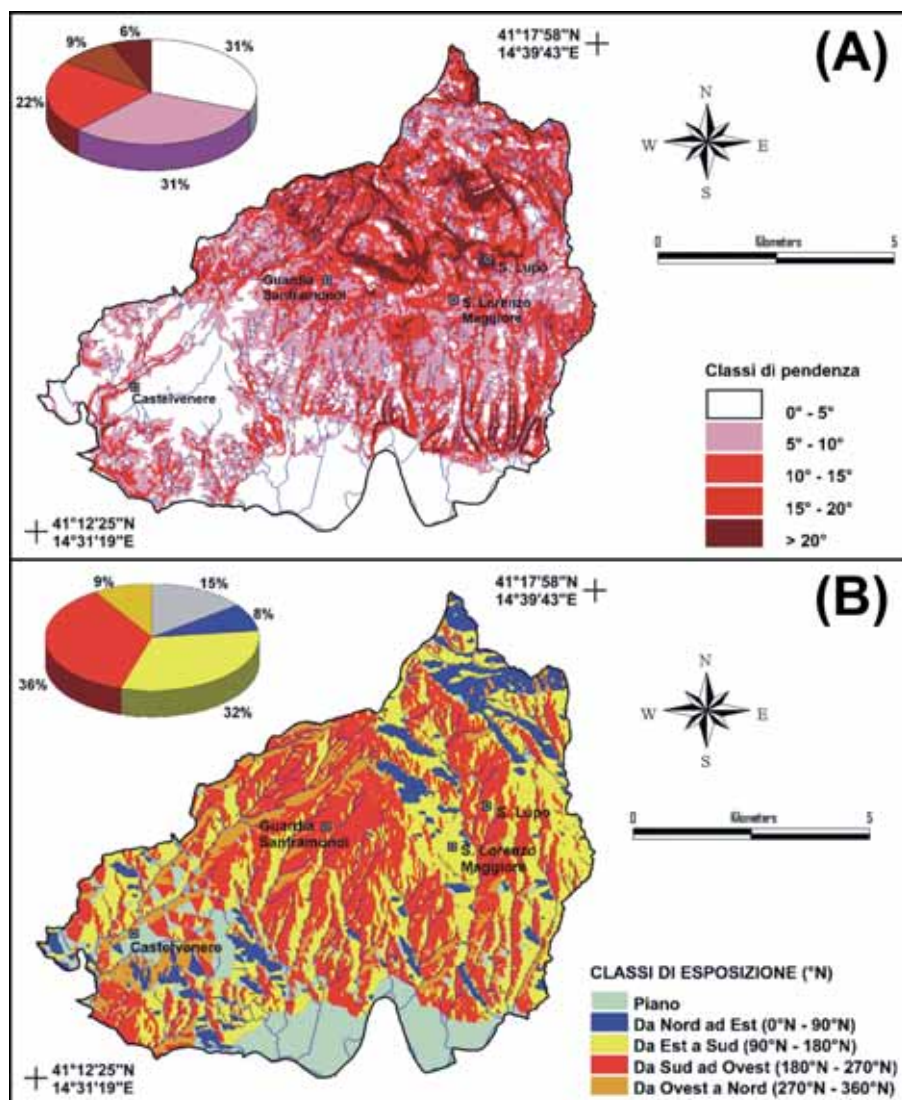


Figura 2 – A) Carta delle pendenze; B) Carta dell'esposizione.

scellamento, sia i processi pedogenetici che determinano, tra l'altro, l'erodibilità del suolo; erosività delle acque ed erodibilità del suolo sono, infatti, i parametri dai cui rapporti dipende, in massima parte, l'entità dell'erosione.

Il primo step è consistito nella creazione di una Carta delle pendenze (Fig. 2A) ed una Carta dell'esposizione (Fig. 2B), entrambe elaborate in automatico dal software ArcViewGIS 3.2 a partire da un DEM con risoluzione di 10 m. Il DEM è stato a sua volta creato in automatico a partire da isoipse e punti quotati digitalizzati manualmente da una base cartografica in scala 1:10000. Parallelamente, l'integrazione di dati di letteratura (BERGOMI *et alii*, 1975; MAGLIULO, 2005; APAT, 2005) con dati originali ha consentito l'elaborazione di una Carta litologica (Fig. 3A) e di una Carta dell'uso del suolo (Fig. 3B). I dati originali sono stati desunti dall'interpretazione di ortofoto pancromatiche in scala 1:10000 e successivamente verificati in campo. La fotointerpretazione, unita all'analisi di cartografie di dettaglio ed al rilevamento di campagna, ha inoltre consentito di individuare i *gullies* presenti nell'area di studio e di determinarne la distribuzione spaziale (Fig. 4). Ciascun

gully è stato manualmente digitalizzato in ambiente GIS. Applicando il metodo proposto da SÜZEN & DOYURAN (2004), è stato quindi creato un *buffer* esternamente ad ogni *gully*: ciò perché il metodo stesso assume che le condizioni geo-ambientali più simili a quelle precedenti lo sviluppo di una certa forma di erosione e responsabili della sua individuazione siano quelle presenti nell'immediato intorno (rappresentato proprio dal *buffer*) della forma di erosione stessa. Come suggerito da Conoscenti *et alii* (2008), la larghezza del *buffer* è stata posta uguale al lato della cella del DEM (10 m) al fine di minimizzare gli errori. Successivamente, il "tema" dei *buffers* è stato intersecato con ciascuna carta tematica: in questo modo, è stato possibile calcolare la densità areale (*DensClas*) dei *buffers* in ciascuna classe dei fattori causali considerati. A questo punto, si è passati al calcolo dei pesi, utilizzando la formula proposta da VAN WESTEN (1993) e modificata da MAGLIULO (2010):

$$P_i = \ln \frac{DensClas}{DensMap} = \ln \frac{Area_{gully_b-i} / Area_{classe-i}}{\sum Area_{gully_b-i} / \sum Area_{classe-i}}$$

dove: P_i è il peso dell' i -esima classe di fattore causale; *DensClas* è la densità areale dei *buffers* nell' i -esima classe di fattore causale; *DensMap* è la densità areale dei *buffers* nell'intera area di interesse; $Area_{gully_b-i}$ è l'area dei *buffers* nell' i -esima classe di fattore causale; $Area_{classe-i}$ è l'area dell' i -esima classe di fattore causale; $\sum Area_{gully_b-i}$ è l'area totale dei *buffers*; $\sum Area_{classe-i}$ è la superficie dell'intera area di interesse.

Il passo successivo è consistito nella riclassificazione delle carte tematiche in base ai pesi così calcolati. Le carte tematiche riclassificate sono state quindi "sovrapposte" (procedura di *overlay*): in tal modo, è stato ottenuto, per ogni cella del DEM, l'indice di suscettibilità, ovvero la somma dei quattro pesi delle altrettante classi di fattore causale presenti nella cella considerata. Il *range* di indici di suscettibilità è stato quindi suddiviso nelle quattro classi proposte da VAN WESTEN (1993) per creare la Carta della suscettibilità alla *gully erosion* (Fig. 5). La validazione è stata effettuata utilizzando il metodo proposto da MAGLIULO *et alii* (2008), ovvero calcolando la percentuale dell'area di ciascuna classe di suscettibilità effettivamente consistente in *gullies* (Fig. 6): secondo tale metodo, la procedura di valutazione della suscettibilità è da considerarsi correttamente applicata se tale percentuale aumenta con la suscettibilità stessa.

CARATTERISTICHE GEOLOGICO-AMBIENTALI DELL'AREA DI STUDIO

L'area in esame presenta un'estensione di circa 68 km² e ricade nel bacino idrografico del Fiume Calore. Il clima è di tipo mediterraneo, con estati calde ed asciutte e inverni miti e piovosi. Le pendenze (Fig. 2A) sono generalmente blande, fino ad annullarsi sia nei dintorni di Castelvenere, dove affiorano i depositi piroclastici dell'Ignimbrite Campana, che all'estremo limite meridionale dell'area d'interesse, dove il substrato è costituito da sabbie, ghiaie e peliti alluvionali oloceniche (Fig. 3A). Le maggiori pendenze si osservano all'estremo nord dell'area, dove affiorano calcareniti marnose, nonché nel settore sud-orientale, lungo le incisioni modellate nelle ghiaie sabbiose pleistoceniche del Fiume Calore. Nella restante parte dell'area, prevalgono pendenze generalmente comprese tra 5° e 10°, che caratterizzano superfici modellate in depositi arenacei ed argilloso-marnosi con intercalazioni di calcareniti. Oltre il 70% dei versanti è esposto verso i quadranti meridionali (Fig. 2B)

Per quanto riguarda l'uso del suolo, oltre il 65% della superficie è destinata all'agricoltura (Fig. 3B). Particolarmente sviluppata è la vitivinicoltura di qualità, in quanto l'area d'interesse ricade nell'areale di produzione

Tabella 1 – Pesì (Pi) delle classi di fattori causali (FC) considerati nel presente studio.

FC	Classe	Peso (Pi)
Pendenza	0° - 5°	-0.722
	5° - 10°	0.202
	10° - 15°	0.298
	15° - 20°	0.268
	> 20°	-0.341
Esposizione	Piano (-1)	-1.114
	Da Nord a Est (0°N - 90°N)	0.301
	Da Est a Sud (90°N - 180°N)	-0.049
	Da Sud a Ovest (180° N - 270° N)	0.247
	Da Ovest a Nord (270°N - 360°N)	-0.230
	Complesso sabbioso-ghiaioso-pelitico	-3.244
	Complesso arenaceo-calcarenitico	-0.309
	Complesso arenaceo-pelitico-calcarenitico	0.242
	Complesso argilloso-marnoso	0.726
	Complesso ghiaioso-sabbioso	-0.225
Litologia	Complesso ignimbrítico	-0.666
	Complesso marnoso-calcarenitico	0.038
	Frutteti	-0.789
	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.514
	Aree con vegetazione rada	0.635
	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali	-0.374
	Boschi di latifoglie	0.085
	Colture annuali associate a colture permanenti	-0.665
	Seminativi in aree non irrigue	1.176
	Sistemi colturali e particellari permanenti	-0.090
Uso del suolo	Uliveti	0.024
	Vigneti	-0.425
	Tessuto urbano discontinuo	-0.402

di tre pregiati vini DOC (Guardiolo, Sannio e Solopaca). Molto frequenti sono anche gli uliveti. Solo all'estremo limite settentrionale dell'area la vegetazione è naturale, di tipo arboreo, arbustivo o erbaceo.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Il rilevamento geomorfologico di campo ha evidenziato, nell'area d'interesse, la presenza di 187 *gullies*, aventi lunghezza compresa tra 68 e 1300 m e larghezza mai superiore ai 5 m. La sezione è risultata essere prevalentemente a fondo piatto e pareti subverticali, fatta eccezione per i *gullies* modellati nei depositi alluvionali in cui è risultata nettamente più diffusa la sezione a "V".

La Tab. 1 evidenzia come la maggiore densità dei *gullies*, evidenziata dai valori più elevati dei pesi, sia presente sui versanti aventi una pendenza compresa tra 10° e 15°, esposti tra Nord ed Est, modellati nei depositi del complesso argilloso-marnoso e sfruttati a seminativo. Pertanto, i versanti con le caratteristiche appena elencate sono risultati essere, in assoluto, quelli con la più elevata suscettibilità alla *gully erosion*. Il rilevamento

di campo ha evidenziato come tale elevata suscettibilità possa essere spiegata, in prima istanza, con la presenza di suoli con marcate evidenze di espansione e contrazione ("proprietà vertiche", indicative della presenza nel *parent material* di minerali argillosi della famiglia delle montmorilloniti), tra cui, in particolare, fessure da disseccamento: queste ultime, infatti, creano le condizioni per la concentrazione del deflusso sub-superficiale che, a sua volta, crea cavità (*tunnels*), la cui volta, collassando per gravità, porta a giorno il canale stesso, che evolve pertanto a *gully* (VALENTIN *et alii*, 2005). A favorire lo sviluppo dei *tunnels* concorre anche la presenza della cosiddetta "soletta d'aratura", frequente su quasi tutti i versanti soggetti a pratiche agricole condotte con mezzi meccanici e, quindi, anche su quelli destinati a seminativo. Inoltre, per quei *gullies* formati direttamente per effetto del ruscellamento superficiale, va evidenziato come, sui versanti con le caratteristiche prima menzionate, il ruscellamento risulti favorito sia dalla ridotta permeabilità dei suoli ivi presenti, dovuto alla tessitura argillosa della roccia-madre da cui derivano,

ma anche dalla loro tendenza a sviluppare croste superficiali per effetto dell'impatto delle gocce di pioggia, che ne riducono ulteriormente la permeabilità; tali croste sono state, in effetti, frequentemente osservate in campo.

La densità dei *gullies* è, invece, risultata essere contenuta sulle superfici pianeggianti o, comunque, aventi pendenza inferiore a 5°, modellate nei depositi del complesso sabbioso-ghiaioso-pelitico e utilizzate a frutteto (Tab. 1). Questo dato appare facilmente spiegabile tenendo conto della netta prevalenza, su tali superfici, dell'infiltrazione rispetto al ruscellamento, dovuta sia alla pendenza scarsa o nulla, sia alla elevata permeabilità dei depositi, sia, infine, alla presenza di una vegetazione di tipo arboreo (alberi da frutto).

Nel complesso, la Figura 5 evidenzia come le aree maggiormente suscettibili alla *gully erosion* siano concentrate nel settore centro-settentrionale dell'area investigata; al contrario, i settori meridionale ed occidentale, ovvero quelli maggiormente sfruttati a fini agricoli, risultano dominati da superfici a suscettibilità "bassa-molto bassa" e "mo-

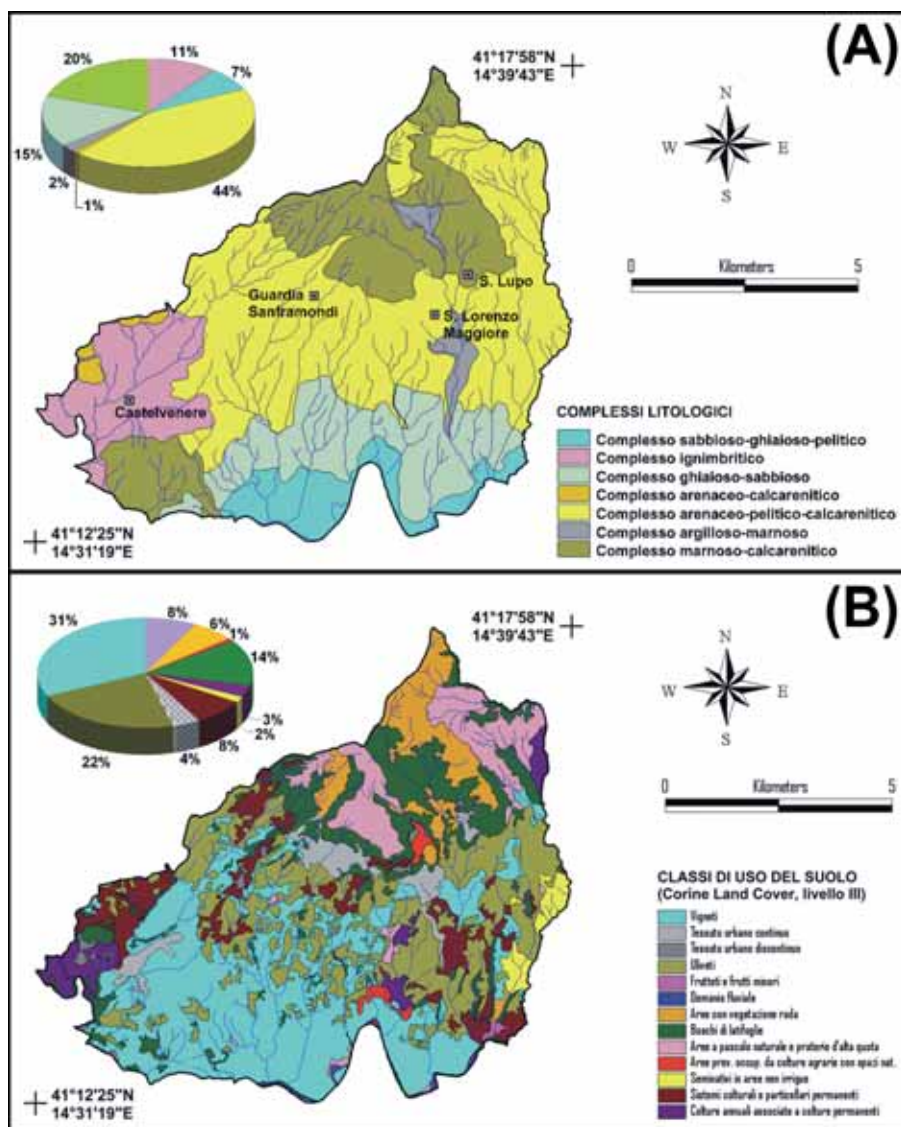


Figura 3 – A) Carta litologica; B) Carta dell'uso del suolo (modificata da Corine Land Cover, livello III; APAT 2005).

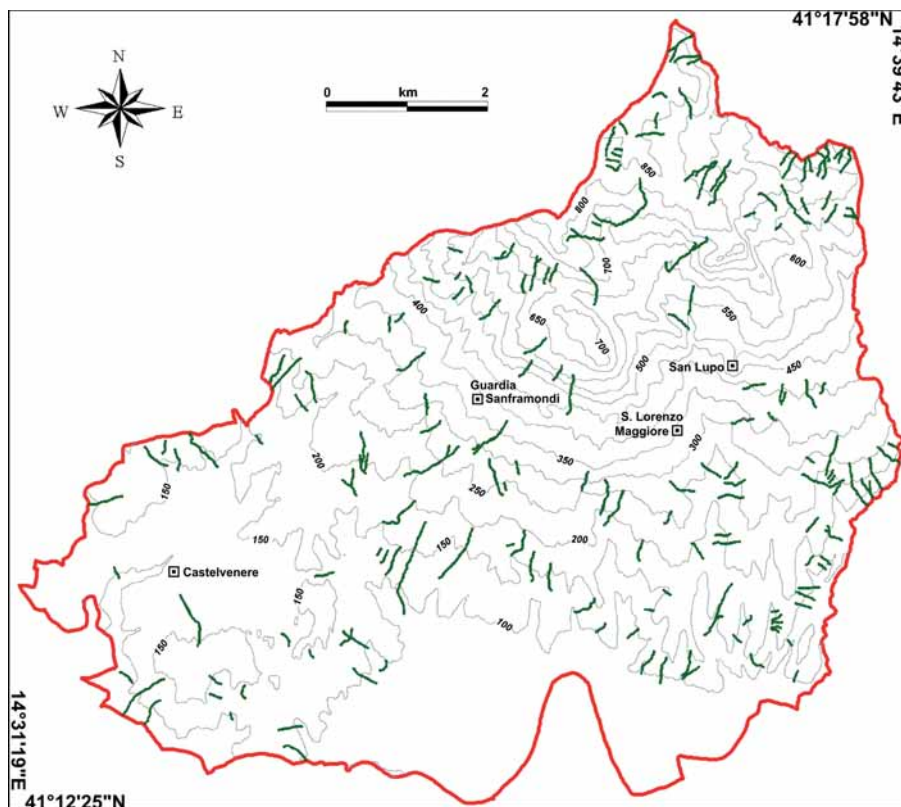


Figura 4 – Carta della distribuzione dei gullies (in verde) nell'area di studio.

derata bassa” (*sensu* VAN WESTEN, 1993). Le elaborazioni effettuate in ambiente GIS hanno evidenziato come le aree a suscettibilità “alta-molto alta” siano le più diffuse, occupando il 31% dell’area. Allo contrario, il 19% dell’area presenta una suscettibilità “moderata-alta”, il 22% “moderata-bassa” ed il 28% una suscettibilità “bassa-molto bassa”.

La validazione della procedura di determinazione della suscettibilità, effettuata utilizzando la metodologia proposta da MANGIULO *et alii* (2008), evidenzia come la percentuale di superficie delle diverse classi di suscettibilità consistente in *gullies* aumenti effettivamente con la suscettibilità calcolata (Fig. 6): pertanto, risulta verificato il requisito richiesto dal metodo utilizzato per ritenere corretta la procedura di valutazione.

CONCLUSIONI

Il presente studio ha consentito di effettuare una valutazione della suscettibilità alla *gully erosion* in un contesto territoriale a pressoché esclusiva vocazione agricola, localizzato in Italia meridionale. La *gully erosion* rappresenta, tra i diversi tipi di erosione idrica, quella in grado di rimuovere i maggiori volumi di suolo nel minor tempo, con conseguenze spesso economicamente disastrose specialmente in contesti territoriali a spiccata o esclusiva vocazione agricola come quello considerato. La determinazione della suscettibilità è stata effettuata elaborando in ambiente GIS e mediante analisi statistica bivariata dati derivanti da un’analisi geomorfologica di tipo classico.

Da un punto di vista metodologico, altri approcci attualmente molto utilizzati per la valutazione della suscettibilità (come, ad esempio, l’analisi statistica multivariata) presentano indubbiamente il vantaggio di tenere meglio conto delle diverse e complesse interazioni tra i vari fattori causali (CARRARA *et alii*, 1999). Tuttavia, anche la metodologia basata sulla statistica bivariata, utilizzata nella presente ricerca, presenta indiscutibilmente dei vantaggi notevoli. In primo luogo, infatti, i dati elaborati (distribuzione spaziale di forme di erosione e classi di fattori causali) sono stati tutti direttamente osservati, rilevati ed interpretati in campo o, al più, derivati da elaborazioni quantitative effettuate in ambiente GIS: tutto ciò riduce sensibilmente il grado di soggettività del metodo e ne aumenta la coerenza da un punto di vista geomorfologico. La coerenza geomorfologica, inoltre, risulta più facilmente valutabile utilizzando una tecnica basata sulla statistica bivariata, poiché l’interpretazione in chiave geomorfologica dei pesi calcolati consente di meglio palesare e valutare il ruolo svolto dal singolo fattore causale e/o dalla singola classe (e non

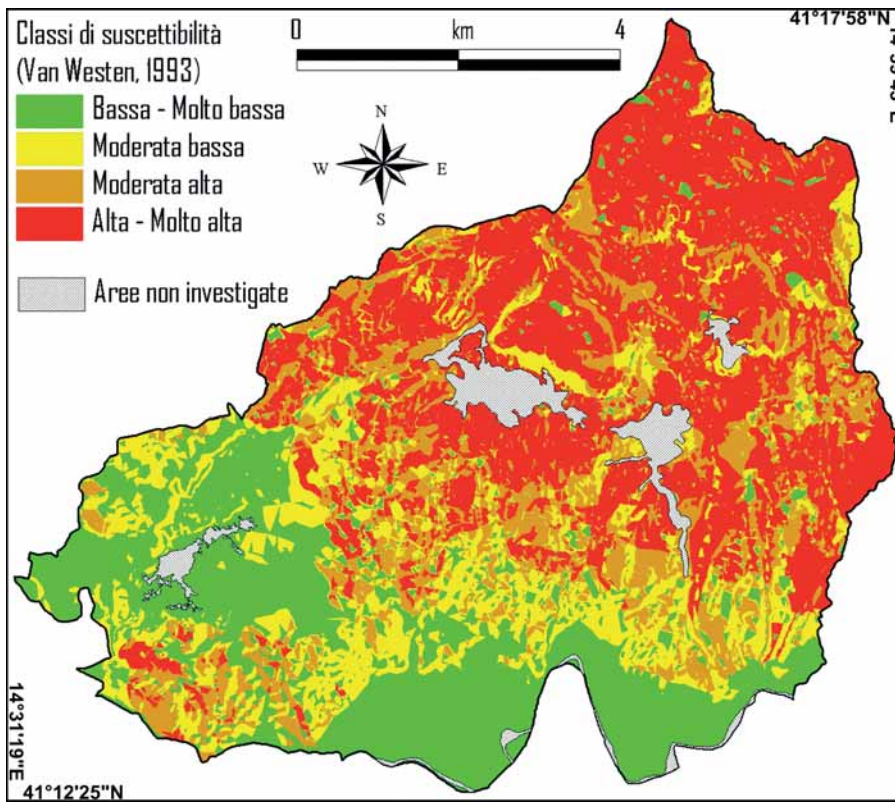


Figura 5 – Carta della suscettibilità alla gully erosion nell'area di studio. Le classi di suscettibilità sono quelle proposte da VAN WESTEN (1993). "Bassa-Molto bassa": $P_{tot} = \sum P_i = < -0.75$; "Moderata bassa": $-0.75 < P_{tot} < 0.05$; "Moderata alta": $0.05 < P_{tot} < 0.5$; "Alta-Molto Alta": $P_{tot} > 0.5$.

dalle interazioni tra di esse), validandolo o confutandolo alla luce di quanto noto in letteratura. Infine, la semplicità della procedura di valutazione della suscettibilità su base bivariata ne consente un facile e continuo aggiornamento, che risulta indispensabile per qualsiasi procedura di determinazione della suscettibilità (come espressamente evidenziato, tra gli altri da ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999) ma, in particolare, per la suscettibilità a processi estremamente dinamici quali la *gully erosion*; non va inoltre dimenticato come le procedure di aggiornamento della

valutazione della suscettibilità siano spesso complicate e/o rese necessarie anche da variazioni nella distribuzione spaziale di classi di fattori causali (ad es., uso del suolo), oltre che da quella delle forme di erosione. Per i motivi sinora esposti, una procedura che sia contemporaneamente di facile applicazione pratica, nonché rigorosa, coerente ed affidabile dal punto di vista geomorfologico appare decisamente auspicabile.

Le ricadute economiche negative dei processi di erosione del suolo, laddove questi non siano adeguatamente contrastati, rendono

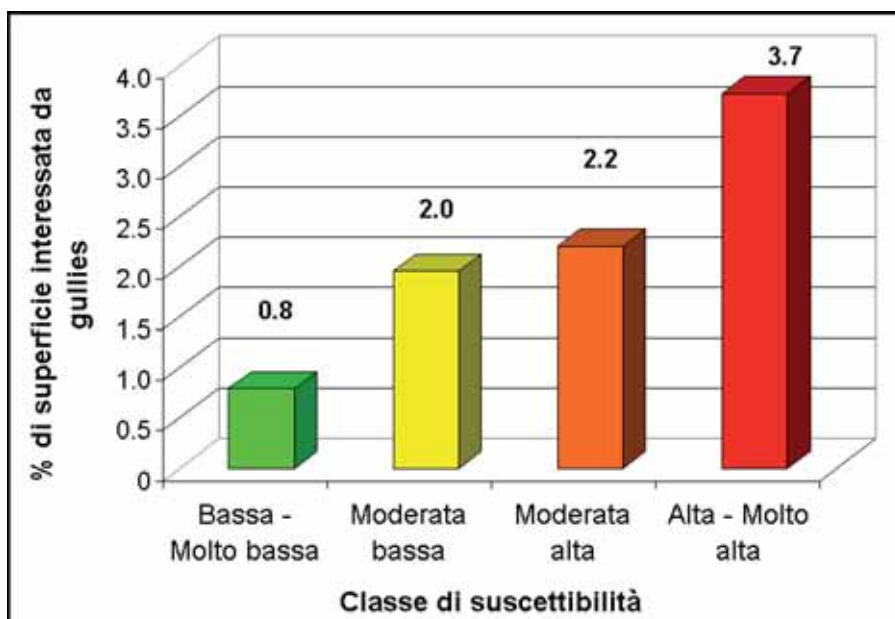


Figura 6 – Risultati della validazione, secondo il metodo di MAGLIULO et alii (2008), della procedura di valutazione della suscettibilità alla gully erosion.

sicuramente strategici i processi di pianificazione territoriale basati, tra l'altro, sulla preventiva determinazione della suscettibilità: quest'ultima, infatti, rappresenta senz'altro un ausilio importante nella scelta del tipo di utilizzazione del territorio, nonché delle tecniche di sfruttamento di superfici agricole più idonee ad un uso sostenibile della risorsa suolo.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano ringraziare l'anonimo revisore per i costruttivi commenti al manoscritto, in grado di migliorare sensibilmente la chiarezza e la leggibilità del presente articolo.

BIBLIOGRAFIA

- ALEOTTI P. & CHOWDHURY R. (1999), "Landslide hazard assessment: summary and new perspectives". *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58(1):21-44.
- APAT - AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE E PER I SERVIZI TECNICI (2005), "La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000". In: www.apat.gov.it.
- AYALEW L., YAMAGISHI H., MARUI H., KANNO T. (2005), "Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications". *Eng. Geol.*, 81:432-445.
- BERGOMI C., MANFREDINI M., MARTELLI G. (1975), "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 173 (Benevento)". *Serv. Geol. d'Italia*, Roma, 160 pp.
- CARRARA A., GUZZETTI S. (1995), "Geographical information systems in assessing natural hazards". *Kluwer Ac. Publ.*, Dordrecht, The Netherlands, 353 pp.
- CONOSCENTI C., DI MAGGIO C., ROTIGLIANO E. (2008), "GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy)". *Geomorphology*, 94:325-339.
- GUZZETTI F., CARRARA A., CARDINALI M., REICHENBACH P. (1999), "Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy". *Geomorphology*, 31:181-216.
- MAGLIULO P. (2005), "Quaternary deposits and geomorphological evolution of the Telesina Valley (Southern Apennines)". *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 28:125-146.
- MAGLIULO P. (2010), "Soil erosion susceptibility maps of the Janare Torrent Basin (Southern Italy)". *Journal of Maps*, v2010:435-447. <http://www.journalofmaps.com>
- MAGLIULO P., DI LISIO A., RUSSO F., ZELANO A. (2008), "Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy". *Nat. Hazards*, 47:411-435.
- SÜZEN M.L., DOYURAN V. (2004), "Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey". *Eng. Geol.*, 71:303-321.
- VAN WESTEN C.J. (1993), "Application of geographic information systems to landslide hazard zonation". ITC publication no. 15, Int. Inst. for Aerospace and Earth Res. Surv., Enschede, The Netherlands, 245 pp.

Predire la morfologia fluviale nella riqualificazione fluviale

La metodologia VALURI

ANDREA NARDINI
Responsabile ricerca e cooperazione Segreteria
Tecnica - CIRF
sito web: www.cirf.org
e-mail: a.nardini@cirf.org

SARA PAVAN
Collaboratrice CIRF; Università di Ferrara,
Dipartimento di Ingegneria
e-mail: sara.pavan@unife.it

RIASSUNTO

Si presenta una metodologia innovativa sviluppata ad hoc per permettere la predizione dell'assetto morfologico e geometrico di un fiume conseguente a una modifica sostanziale del sistema delle opere di difesa e di sfruttamento introdotta, tipicamente, da un progetto di riqualificazione "in grande". La metodologia integra diversi criteri, dallo storico, all'ingegneristico. Il caso studio del fiume Chiese sub-lacuale, appartenente al bacino del fiume Po, ne illustra l'applicazione e ne mette in luce potenzialità e debolezze.

POSIZIONE DEL PROBLEMA AFFRONTATO

La *riqualificazione fluviale in grande* (CIRF, 2006) propone l'idea che fiumi più naturali siano più desiderabili anche in relazione al rischio idraulico (inondazioni) e idromorfologico (erosione spondale e dissesti associati). Per poter valutare compiutamente la proposta di un nuovo assetto delle opere fluviali è però necessario disporre di uno strumento che sia in grado di predire le conseguenze sulla morfologia e sulla geometria fluviale considerando tutte le forze e i vincoli in gioco. L'esigenza di predizione morfologica è implicitamente inclusa anche nella Direttiva "Alluvioni" (Dir. 2007/60/CE): per arrivare a costruire una vera mappatura del rischio globale (e non della sola pericolosità come viene fatto generalmente all'interno dei Piani per l'Assetto Idromorfologico (PAI) prescritti dalla Legge 183/89) è infatti necessario includere sia il rischio da inondazione vero e proprio, che il rischio associato alla migrazione degli alvei ed erosione dei terreni ripari.

Lo strumento ideale sarebbe un modello meccanicistico fisicamente basato. Ad oggi però nessun modello di questo tipo è sufficientemente versatile e utilizzabile, così completo da rappresentare tutti i processi chiave, ma allo stesso tempo sufficientemente poco esigente in termini di dati e tempi di calcolo richiesti per sviluppare simulazioni di medio-lungo termine (50-100 anni) alla scala spaziale di corridoio fluviale (decine di chilometri). Per fiumi meandriformi, ad esempio, esistono modelli meccanicistici (Zolezzi and Seminara, 2001) che offrono soluzioni computazionali

mente trattabili e affidabili dell'evoluzione planimetrica (Frascati e Lanzoni, 2009)¹; presentano però alcuni punti deboli:

- possono essere utilizzati solo da personale con un profilo scientifico molto specializzato
- sono molto sensibili alle assunzioni introdotte, in particolare nella modellazione dell'erosione spondale (come descritto da Darby and Thorne, 1996; Darby, 1998; Darby et al., 2002), assunzioni caratterizzate da significativa arbitrarietà
- richiedono dati di rilievo e informazioni estensive sulle caratteristiche fluviali, decisamente al di là delle possibilità di molte applicazioni di pianificazione (Kean, 2003; Constantine et al., 2010), anche se in alcuni casi l'uso di mappe storiche per calibrare il tasso di spostamento dei meandri può parzialmente superare questa difficoltà.

Il problema affrontato nel presente articolo è quindi la predizione della morfologia fluviale futura corrispondente all'insieme delle opere di difesa e di sfruttamento e delle modificazioni morfologiche introdotte da un possibile progetto di riqualificazione "in grande" (nel seguito "Alternativa" a sottolineare che tipicamente vanno confrontate diverse possibili soluzioni appunto alternative). A tal fine abbiamo sviluppato una metodologia ad hoc che integra diversi criteri, in modo da sfruttare diversi tipi di conoscenza e saggezza.

APPROCCIO E METODOLOGIA DI PREDIZIONE MORFOLOGICA

L'idea qui proposta si basa sui seguenti criteri:

- a) analisi geomorfologica storica e valutazione dell'attuale stato di equilibrio. Introduciamo l'ipotesi che il fiume tenda a *seguire la propria intrinseca natura*, a meno che non si sia superata una qualche

soglia di irreversibilità (come succede, ad esempio, quando il processo di incisione consuma l'intero materasso alluvionale). Questa natura intrinseca viene individuata attraverso un'analisi geomorfologica storica (da mappe, documenti, toponomastica, etc.) e sintetizzata in una "storia del fiume" sulla quale si costruisce una "teoria interpretativa". Questi due elementi – *storia e teoria interpretativa* – costituiscono una novità rispetto alla metodologia FISRWG (1998), che è, per altri versi, quella più vicina alla nostra². L'analisi di equilibrio dice, d'altra parte, come/dove presumibilmente inizierà il processo di evoluzione morfologica. È importante chiarire che "seguire la propria natura" non implica riprendere esattamente l'assetto anteriore, ma piuttosto assumere una morfologia e un comportamento simili. Ad esempio, nel caso frequente di fiumi rettificati, in seguito alla rimozione delle difese, il fiume può tornare ad essere meandriforme, ma l'alveo può essere traslato a un livello più basso della piana inondabile originale, a causa dell'incisione irreversibile

- b) ragionamenti meccanicistico-ingegneristici (seguendo lo stile del testo molto interessante di Degoutte 2006) e relazioni qualitative ereditate dalla geomorfologia fluviale, le quali offrono una guida per inferire quale cambio di tipologia è più probabile che avvenga (come per esempio la bilancia di Lane, 1955 o le relazioni di Schumm, 1977)³.

² Un'altra differenza chiave da FISRWG (1998) sta nella loro assunzione di esistenza di una relazione univoca tra pendenza del letto i_A , pendenza della valle i_V e sinuosità del fiume s ($i_A = i_V/s$), mentre la presenza di salti artificiali (molto frequenti in fiumi alterati antropicamente, basti pensare alle traverse di derivazione irrigua) modifica sostanzialmente tale relazione.

³ Esempio di un tal ragionamento (per un fiume di natura meandriforme, ma attualmente canalizzato, stabile): *se si rimuovono le difese spondali longitudinali (ma una soglia a valle è mantenuta)* → le sponde si destabilizzano → c'è un (lieve) incremento dell'apporto locale di solidi dalle sponde, mentre il fiume incomincia a meandriare in

¹ Esistono anche "modelli cellulari" come CAESAR le cui potenzialità sono oggetto di verifica e miglioramento con risultati incoraggianti (Coulthard et al., 2008), anche se ancora lontani dall'applicabilità per simulazioni affidabili di lungo termine, a causa, tra altri aspetti, della grossolana rappresentazione degli aspetti idraulici.

- c) supporto analitico dall'idraulica fluviale e dalla geomorfologia fluviale per ridurre l'arbitrarietà e offrire vincoli quantitativi alle molteplici incognite:
- il cardine è l'ipotesi che la portata di bankfull Q_B coincida sostanzialmente con la portata efficace Q_E , quella cioè che massimizza il trasporto solido atteso di fondo, dato che questo è il flusso che, in media, trasporta la maggior quantità di sedimenti ed è quindi responsabile di dare la forma di equilibrio all'alveo⁴;
 - relazioni empiriche per stabilire il morfotipo (distinguendo, in particolare, tra "sinuoso/meandrico" e "ditransizione")⁵.
 - equazioni di bilancio di massa e di energia per delineare il profilo del pelo libero in moto stazionario.
- d) Coerenza:
- *coerenza geometrico-topografica*: l'assetto previsto deve essere coerente con il reale profilo del terreno. Questa precisazione può sembrare banale, ma è invece estremamente importante⁶.

accordo alla propria natura → diventa più lungo riducendo così la propria pendenza (s); inoltre, se ha subito un processo di incisione-restringimento, tenderà a riallargarsi. Ma, per mantenere una capacità di trasporto adeguata (e, anzi, incrementarla per far fronte all'apporto locale aggiuntivo) deve al contrario incrementare la pendenza, quindi il profilo longitudinale si alza facendo "perno" sulla soglia a valle.

4 Matematicamente, questo implica una ricerca iterativa sulla geometria fluviale (pendenza, larghezza e profondità di bankfull e larghezza dell'alveo goleneale) in modo da produrre una Q_B circa uguale alla portata efficace Q_E , definita come:

$$Q_E = \arg_{x \in (x_1, x_2, \dots, x_n)} [Q_S(x) * \Delta P(x) = \max]$$

dove la capacità di trasporto solido $Q_S(x)$ è data da una formula di trasporto (es. Meyer-Peter-Müller) in funzione della portata x – mentre $\Delta P(x)$ denota la probabilità che la portata cada nell' x -esimo intervallo discreto di valori di portata $[x_1, x_2]$, e può essere così espresso in termini del tempo di ritorno T_R : $\Delta P(x_1) = [1 - 1/T_R(x_2)] - [1 - 1/T_R(x_1)]$ assumendo per $x_n, T_R(x_{n+1}) = \infty$ (in pratica, un numero molto alto).

5 Per esempio, Wolman (1957) citata in Lebreton J.C. (1974).

6 Infatti, se ad esempio per un tratto inciso si ipotizza il recupero di parte dell'incisione, il nuovo thalweg verrà a trovarsi ad una quota z_b maggiore della precedente. E' quindi necessario verificare che la nuova quota z_w del pelo libero ($z_w = z_b + h_b$, dove h_b è la nuova profondità media di bankfull in quel tratto), non superi la quota del piano campagna z_c circostante: il pelo libero non può infatti "giacere nell'aria" in un tratto sprovvisto di arginature; se ciò avviene, significa che la morfologia prevista è fisicamente irrealizzabile e deve essere modificata (il caso opposto però – ovvero z_w inferiore al piano campagna – è invece possibile, perché fiumi incisi, una volta recuperati, tendono a ricreare una pianura inondabile più contenuta a quota inferiore all'originale).

• *coerenza di sistema*: a rigore, tutti i ragionamenti e le predizioni sviluppate per ognuno dei tronchi fluviali dovrebbero essere verificati nel loro insieme per assicurarne la coerenza. Da un punto di vista pratico, però, questo è proprio il tipo di relazioni che solo un modello matematico (o fisico) può realmente rispettare; "a mano", possiamo affrontare solo alcune delle condizioni.

LA PREDIZIONE MORFOLOGICA IN PRATICA

I passi necessari ad implementare i criteri di cui sopra sono di seguito descritti. Innanzitutto si procede all'identificazione di tronchi fluviali geomorfologicamente omogenei. Successivamente, per ogni tronco si procede a:

- sviluppare la *storia del fiume e la teoria interpretativa* attraverso un'approfondita indagine storica
- valutare lo stato attuale di equilibrio (da confronto di foto aeree recenti ed altro)
- identificare "punti fissi" (es. soglie, formazioni rocciose, difese longitudinali rigide, ...) presenti nell'Alternativa considerata; sono gli elementi che bloccano il letto fluviale in una posizione data verticalmente o lateralmente
- inferire in termini qualitativi, dalla teoria interpretativa e dalla valutazione dello stato di equilibrio, come il tronco fluviale risponderà all'Alternativa considerata
- ipotizzare come primo tentativo quale sarà la corrispondente morfologia del bankfull di equilibrio (cioè assegnare un valore di prima approssimazione a pendenza, lunghezza o sinuosità, larghezza e profondità), applicando ragionamenti meccanicistico-ingegneristici (vedi esempio)
- (per tronchi puramente alluvionali) applicare le condizioni analitiche idraulico-fluviomorfologiche, modificando iterativamente la morfologia supposta al passo precedente, fino a convergere a una soluzione coerente
- (per tronchi puramente alluvionali e sostanzialmente privi di opere) verificare la coerenza con le relazioni empiriche, ed eventualmente modificare la morfologia.

Infine, alla scala di corridoio fluviale:

- tradurre la morfologia predetta in un tracciato planimetrico rispettando la forma e la lunghezza previste e considerando evidenze geomorfologiche (es. paleoalvei, zone umide), nonché il fatto che l'evoluzione del fiume sarà in certa misura controllata evitando, per quanto possibile, di interessare insediamenti urbani e infrastrutture (inserendo protezioni ad hoc costituite da interventi puntuali tipicamente di ingegneria naturalistica)

• verificare la coerenza topografica e di sistema ed eventualmente reiterare sulla morfologia di ogni tronco e sul tracciato planimetrico.

CASO STUDIO

La metodologia descritta è stata applicata all'intero corso sub-lacuale (ca. 70 km) del fiume Chiese a valle del lago d'Idro (uno dei laghi pedemontani post glaciali naturali, ma regolati da un sistema di paratoie), fino alla sua confluenza con il fiume Oglio. La maggior parte del fiume scorre in una zona semirurale, toccando comunque numerosi centri abitati e insediamenti rurali. Quasi tutto il suo corso è fortemente artificializzato, con la presenza di molteplici imponenti traverse di derivazione ed estese difese longitudinali e arginature anche multiple. Per questo fiume, l'Autorità di Bacino del Po ha sviluppato da tempo uno Studio di Fattibilità della sistemazione idraulica piuttosto dettagliato (AdBPo, 2004, "SdF" in quanto segue) per definire un assetto idraulico di progetto che include alcuni interventi parziali di riqualificazione (principalmente rifeostazione del corridoio fluviale e rimozione di difese obsolete), ma soprattutto numerose nuove opere di difesa o adeguamenti di quelle esistenti. Lo scopo dell'applicazione era investigare se una diversa soluzione di progetto, con molto meno "cemento nel fiume", potesse condurre a significativi risparmi in investimenti per le opere da non realizzare (rispetto allo SdF) e in costi di gestione, manutenzione e rimpiazzo (nel seguito OMR: Operation, Maintenance, Replacement) delle opere che potrebbero essere dismesse (ma che nello SdF vengono mantenute), mentre, dall'altro lato, l'incremento di rischio idro-morfologico corrispondente non subisse incrementi inaccettabili. Naturalmente, l'idea è che una nuova soluzione con meno opere implicherebbe anche un miglioramento dello stato ecologico complessivo, in accordo con la Direttiva Europea sulle Acque.

A tal fine abbiamo definito un certo numero di Alternative di assetto.

ALTERNATIVE CONSIDERATE

Tutte le Alternative sono state definite a partire dall'assetto esistente e dagli interventi previsti nello SdF. Concretamente, a causa del notevole sforzo di elaborazione e analisi, abbiamo davvero sviluppato fino in fondo tre Alternative:

- ALT_0: rappresenta sostanzialmente lo stato attuale, integrato da qualche intervento ritenuto indispensabile dall'Autorità di bacino del Po, come ad esempio alcuni rialzi arginali localizzati; si tratta di una situazione con forti costi OMR
- ALT_SdF: rappresenta la soluzione proposta nello SdF (AdB Po, 2004) che sostanzialmente

zialmente incarna il criterio della “messa in sicurezza” rispetto all’evento di riferimento con tempo di ritorno $T_R = 200$ anni, laddove il valore dell’uso del suolo della zona da proteggere giustifichi l’intervento

- **ALT_Base**: è un primo tentativo di riqualificazione che ha come criterio base l’eliminazione del maggior numero di opere esistenti, a condizione di impattare il meno possibile il sistema antropico attuale. Può essere definita come una “strategia di riqualificazione prudente”.

di una traversa di derivazione per fini irrigui, additata come causa delle ripetute inondazioni, si siano verificati allagamenti anche di recente, in corrispondenza dell’evento di novembre 2010! Sulla base di tali evidenze, una “storia del fiume” è stata elaborata per ogni tronco fluviale, come mostrato dall’esempio a seguire (Fig. 1):

Questa informazione ci ha portato a sviluppare una *Teoria interpretativa* molto semplice, come rappresentato nel seguente schema (Fig. 2).

(artificiale) equilibrio e di fatto stanno ancora incidendo.

PREDIZIONE

La prima fase è stata l’identificazione, nel fiume, di tronchi geomorfologicamente omogenei. A tal fine abbiamo applicato la metodologia River Styles di Brierley and Fryirs (2005), lievemente modificata per considerare la presenza di opere.

La seconda fase è stata la predizione vera e propria, per ogni tronco, della sua morfologia futura, corrispondente a nuove opere inserite o a vecchie opere rimosse o non più mantenute, come spiegato più sopra. Per applicare in particolare le condizioni analitiche di supporto, cioè ricercare sostanzialmente la coincidenza tra portata di bankfull e portata efficace corrispondenti alla nuova morfologia di prova, si è predisposto un foglio di calcolo piuttosto articolato. Esso calcola, per ogni tronco, la portata di bankfull sulla base delle classiche formule di Chezy-Manning, e la portata efficace, cioè quella che massimizza la capacità di trasporto, su base discreta rispetto a un certo numero di valori di portata (corrispondenti ai tempi di ritorno T_r : 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500), già determinati da un modello idrologico nello SdF; per determinare il trasporto solido, abbiamo adottato una modifica (Ramez, 1995) della classica formula di Meyer-Peter-Muller (1948). Con tale strumento è stato possibile determinare, per tentativi, le variabili morfologiche (larghezza e profondità di bankfull, pendenza e lunghezza del tronco fluviale).

Come anticipato, la planimetria successivamente ottenuta è significativamente affetta da incertezza.

Va notato, però, che la posizione conta per noi solo in modo indiretto, dato che il nostro interesse principale è il comportamento idraulico in piena (che dipende dalla posizione, ma soprattutto dalla geometria generale

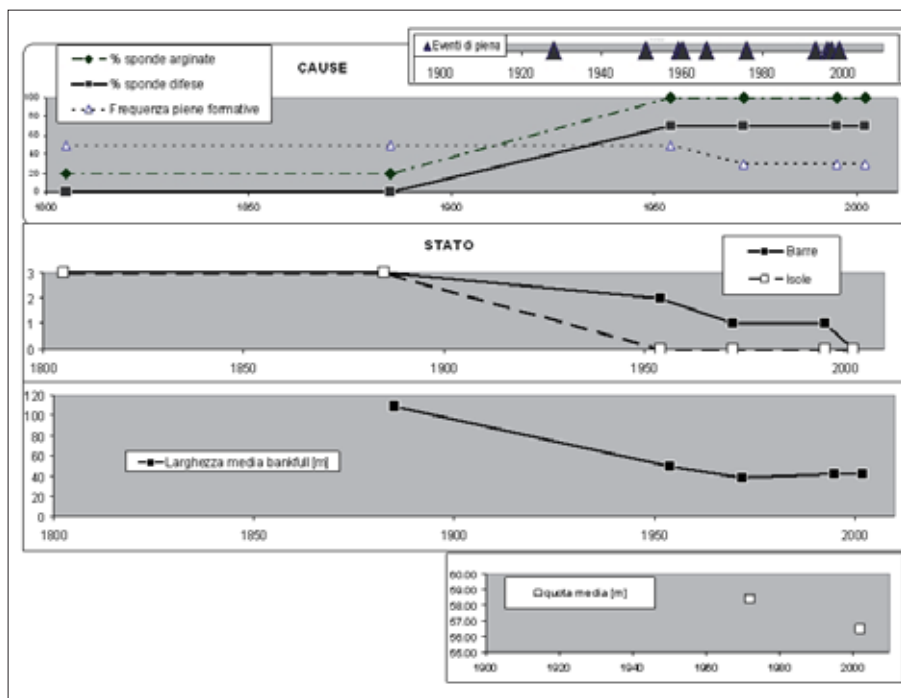


Figura 1 – Storia del fiume (Tronco 24). Sopra: le probabili cause delle modifiche geomorfologiche: piene significative, realizzazione di difese longitudinali e arginature (l’indicatore è la % della lunghezza totale protetta su ambedue le rive) e la probabilità di occorrenza di piene formative (in funzione delle opere di regolazione del lago d’Idro). Al centro: alcune variabili di stato: numero di barre e isole – che progressivamente spariscono, larghezza e lunghezza del tronco – restringimento e incisione. Sotto: alcuni degli effetti sul sistema antropico: registri di danni da piena fluviale (naturalmente, anche il cambio di uso del suolo può aver giocato un ruolo significativo, anche se non sono evidenti cambiamenti significativi nella zona).

STORIA DEL FIUME E TEORIA INTERPRETATIVA

Per investigare il comportamento storico del fiume, abbiamo effettuato una ricerca piuttosto approfondita presso gli Archivi di Stato di Milano, Mantova e Brescia, oltre che nella documentazione dell’Autorità di Bacino del Po e dell’AIPO (Agenzia Interregionale per il fiume Po), come anche presso i consorzi irrigui del fiume Chiese.

Le informazioni più interessanti sono emerse dalle mappe antiche e dagli associati carteggi tra ingegneri, esponenti della comunità e amministratori di quei tempi (alcuni secoli fa) i quali discutevano e ridiscutevano per anni o anche decenni gli interventi più appropriati da effettuare. La cosa che colpisce di più è che, in certi casi, il medesimo problema e la medesima soluzione (es. sistema di pennelli) erano ri-proposti e furono implementati reiteratamente letteralmente per secoli. È poi impressionante il fatto che poco a valle di Asola, proprio in una zona in cui fin dal 1400 si dibatteva aspramente sugli effetti

Questa semplice “teoria” è stata confortata anche dai risultati dell’analisi di equilibrio attuale che ha mostrato che alcuni tronchi non hanno ancora trovato il loro nuovo

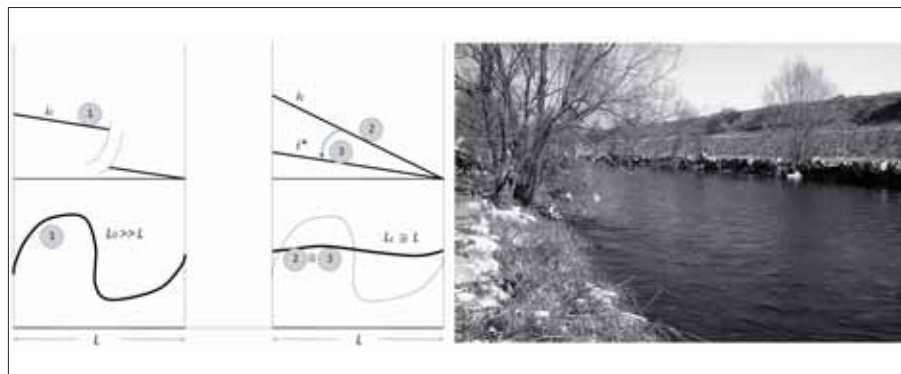


Figura 2 – (Sinistra) Teoria interpretativa del fiume per il Tronco 24 (e molti altri), conseguente alla Storia del fiume. (1) Situazione originale: tronco meandriforme di lunghezza L_0 con pendenza (i_0); (2) Subito post rettificazione: è più corto ($L_c \ll L_0$) e con maggior pendenza ($i_c \gg i_0$); (3) Nuovo equilibrio (assumendo invariate le variabili di controllo di monte Q and Q_S): ha inciso a monte (mentre a valle una soglia resta al suo posto mantenendo un punto fisso), in modo da ridurre l’eccesso di capacità di trasporto fino a un valore simile all’originale (se inoltre vengono realizzate difese longitudinali, si riduce l’apporto solido e conseguentemente la pendenza). (Destra) Il fiume sta di fatto ancora incidendo in questo tronco (il che implica continui e crescenti costi di manutenzione OMR).

dell'alveo: quote, pendenze, sezioni) e la fascia di divagazione (che comporta perdita di suolo e del valore ad esso associato), perché entrambi contribuiscono a determinare il rischio. In particolare, la fascia di divagazione è stata determinata come inviluppo dei bankfull storici e di quello previsto.

CONCLUSIONI

La metodologia sviluppata offre uno schema sistematico, logico e integrato, che incorpora diversi criteri, senza però risultare eccessivamente complesso da applicare, per affrontare la sfida di predire la morfologia fluviale corrispondente a interventi di modifica dell'assetto delle opere di difesa e sfruttamento e della sua morfologia (es. riconnessione dell'alveo inciso alla piana fluviale ora divenuto terrazzo). I risultati ottenuti ad oggi appaiono offrire risposte sensate e soddisfacenti.

Sono comunque diversi i punti deboli che possono essere identificati:

- assunzioni tecniche:** un'ipotesi incorporata è che la granulometria di ogni tronco fluviale non cambi dopo l'aggiustamento morfologico, il che è chiaramente non sempre vero dato che variazioni di capacità di trasporto portano probabilmente alla modifica della distribuzione spaziale della granulometria dei sedimenti; analogamente, non abbiamo considerato gli effetti che una diversa vegetazione riparia -associata con la riqualificazione- indurrebbe. Il calcolo della portata di bankfull e del trasporto solido è inoltre basato sull'ipotesi di moto uniforme, ovviamente lontano dalla realtà. Il modo in cui la morfologia prevista è stata poi tradotta in termini di geometria delle sezioni trasversali (non discusso qui) lascia spazio a qualche arbitrarietà;
- tronchi non puramente alluvionali:** in questi tronchi, parzialmente confinati lateralmente o verticalmente, a rigore, non possiamo applicare l'unica condizione analitica ($portata\ di\ bankfull = portata\ efficace$) concretamente utilizzabile per ridurre l'indeterminazione dovuta alle numerose incognite geometriche in gioco; d'altra parte, le formule empiriche non dovrebbero essere considerate in tali tronchi perché hanno un significato solo per tronchi non confinati (e del tutto privi di opere)
- arbitrarietà planimetrica:** decisamente, il punto più debole della metodologia è la predizione planimetrica, dato che la medesima tripletta di morfotipo, lunghezza e sinuosità possono darsi con infinite varianti planimetriche. Di fatto, il risultato che si può ottenere con una certa affidabilità

è solo la larghezza della fascia di divagazione. Se una predizione affidabile della posizione del bankfull è importante (in particolare per accoppiare un modello idraulico di esondazione per la stima del rischio di allagamento), si dovrebbe piuttosto sviluppare un approccio Monte-carlo predicendo un gran numero di forme planimetriche, di morfologia equivalente, e poi sviluppare la conseguente analisi di rischio in senso statistico. In termini pratici, però, ciò sarebbe possibile solo attraverso un sistema di supporto informatico dedicato, dato che il numero e la complessità delle elaborazioni sono molto elevati e la procedura complessa.

- transitorio:** la metodologia sviluppata non vede il transitorio dal momento in cui l'Alternativa viene implementata fino al (supposto) raggiungimento del nuovo equilibrio. Tale processo, che può durare anche decenni a seconda del carattere del fiume e delle condizioni al contorno, può condurre a condizioni di rischio significative
- informazione storica:** cosa fare quando non è disponibile informazione significativa?

Ciononostante, si deve scegliere se intraprendere la via della simulazione idraulica complessa dove le assunzioni chiave possono essere molto arbitrarie, determinanti (es. la quantificazione dell'apporto solido da monte; larghezza costante; meccanismo di erosione spondale,...) e nascoste, o rimettersi a una metodologia come quella esposta, di carattere più qualitativo, basata sul giudizio esperto, ma fondata su assunzioni esplicite e sulla solidità del comportamento storico realmente avvenuto.

In ogni caso, ignorare la necessità di predizione morfologica prima di effettuare interventi sui fiumi è certamente una scelta scorretta.

Indubabilmente, molta ricerca può essere sviluppata per stabilire quanto affidabile sia la corrispondente predizione morfologica e chiaramente migliorare la metodologia stessa.

RIFERIMENTI

- AdBPo (2004), *Studio di Fattibilità della Sistemazione Idraulica del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio*. Autorità di bacino del Po, Parma. (indicato nel testo come "SdF")
- BRIERLEY G.J., FRYIRS K.A. (2005), *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Carlton -Australia
- CONSTANTINE C.R., DUNNE T., HANSON G.J. (2009), *Examining the physical meaning of the bank erosion coefficient used in meander migration modelling*. Geomorphology, Volume 106, Issues

- 3-4, 15 May 2009, Pages 242-252
- COULTHARD T., DE ROSA P., MARCHESINI I. (2008), *CA-ESAR: un modello per la simulazione delle dinamiche d'alveo*. Il Quaternario. 21(1B), 2008, 207-214.
- CRESCIMANNO G., FERRO V., GIORDANO G. (1989), *Alcune considerazioni sulla portata dominante dei torrenti montani*. Rivista di Ingegneria Agraria, 1989, 2, 113-120.
- DARBY S.E. (1998), *Modelling width adjustment in straight alluvial channels*. Hydrol. Process, 12, pp. 1299-1321.
- DARBY S.E., THORNE C.R. (1996), *Numerical simulation of widening and bed deformation of straight sand-bed river. I: Model development*. Journal of Hydraulic Engineering, 4, pp. 184-193.
- DARBY S.E., ALABYAN A.M., VAN DE WIEL M.J. (2002), *Numerical simulation of bank erosion and channel migration in meandering rivers*. Water Resources Research, 1029/2001.
- DEGOUTTE G. (2006), *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières. Hydraulique et morphologie fluviales appliquées*. Lavoisier. Paris.
- Frascati A., Lanzoni S. (2009), "Morphodynamic regime and long-term evolution of meandering rivers", Journal of Geophysical Research 114: F02002. doi: 10.1029/2008JF001101.
- FISRWG (1998), *Stream Corridor Restoration. Principles, Processes and Practices*. Published by the National Technical Information Service (NTIS), Springfield, VA 22161. U.S. Department of Agriculture (USDA). (http://www.usda.gov/stream_restoration)
- KEAN. J.W. (2003), *Computation of flow and boundary shear stress near the banks of streams and rivers*. Ph.D. thesis, Colorado UNIVers., Boulder.
- LANE E.W. (1955), Design of stable channels. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 120, 1-34.
- LEBRETON J.C. (1974), *Dynamique Fluviale*. Chez Eyrolles, Paris
- MEYER-PETER E., MULLER M. (1948), *Formulation for bed-load transport*. Proceedings International Association for Hydraulic Research, 2nd congress, Stockholm 39-64.
- PETIT, F., PAUQUET, A. (1997), *Bankfull discharge recurrence interval in gravel-bed rivers*. Earth surface processes and landforms, 22, 685-693.
- RAMEZ (1995), *Erosion et transport solide en rivière: guide pour la compréhension des phénomènes*. CEMAGREF Lyon, France.
- SCHUMM S.A. (1977), *The fluvial system*. Wiley. New York. 338 pp.
- ZOLEZZI G., SEMINARA G. (2001), *Downstream and upstream influence in river meandering. Part I. General theory and application to overdeepening*. Journal of Fluid Mechanics 438: 183-211.
- WILLIAMS G.P. (1978), *Bankfull discharge of rivers*. Water Resources Research, 1978, 14: 1141-1158.

Analisi di dati SAR satellitari e GPS come approccio preliminare alla gestione del rischio idrogeologico

FABIO NICOTERA
Geologo
e-mail: fabio.nicotera@geologi.it

GIOVANNI MARCO BOSETTI
Geologo
e-mail: m.bosetti@geonovaconsulting.com

RIASSUNTO

La pianificazione urbanistica nei centri abitati deve necessariamente porre le sue basi su un'analisi accurata delle componenti naturali del territorio che permetta la definizione di modelli morfologici evolutivi dello stesso e quindi la previsione, per quanto possibile, sia dell'evoluzione delle potenziali manifestazioni dissestive, sia delle conseguenze che ne possono derivare. Un'adeguata conoscenza del territorio consente quindi la programmazione di misure di prevenzione in relazione ai potenziali rischi per la sicurezza delle popolazioni residenti, per la salvaguardia delle attività produttive e per la sostenibilità delle previsioni di sviluppo.

Far fronte, in questi termini, alle problematiche correlate alla pianificazione urbanistica, sebbene non permetta di eliminare totalmente i fattori di pericolosità e rischio, soprattutto a causa di quanto in passato realizzato, può almeno consentire di minimizzare l'entità.

Le conoscenze scientifiche ad oggi disponibili consentono inoltre un approccio sicuramente più efficace per la definizione delle problematiche insite nel rapporto ambiente-antropizzazione ed offrono possibilità di intervento tali da rendere ragionevolmente compatibile lo sviluppo urbanistico con l'assetto del territorio.

Quanto nel seguito riportato intende evidenziare l'efficacia di alcune tecniche di rilevamento satellitare utilizzabili per l'acquisizione di conoscenze integrative in relazione alle dinamiche morfo-evolutive di porzioni di territorio ubicate sia in ambito di versante, sia in ambito di fondovalle, al fine di fornire nuovi strumenti a supporto delle politiche decisionali nell'ambito della pianificazione urbanistica.

IL RISCHIO IDROGEOLOGICO

L'individuazione delle aree soggette a rischio idrogeologico è, in generale, delegata a soggetti istituzionali. In Italia, tra gli organi preposti all'amministrazione dei suoli, l'Autorità di Bacino ha compiti essenzialmente riconducibili alle attività di pianificazione e di programmazione nell'intero bacino idrografico di competenza.

Tali attività vengono attuate principalmente mediante il Piano di Bacino Idrografico, in cui sono "pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato".

L'Autorità di Bacino, attraverso lo strumento del Piano di Bacino, ha quindi il compito di definire i limiti delle utilizzazioni compatibili con le finalità di tutela degli elementi fisici e con lo sviluppo sostenibile delle attività che in esso si svolgono, trattando unitariamente ed in modo integrato tutti gli aspetti dell'ambiente fisico di un dato bacino idrografico.

Per un corretto sviluppo ed una consapevole predisposizione di un Piano di Bacino, risulta necessario disporre di strumenti che descrivano, con adeguata accuratezza, la morfologia e la dinamica evolutiva, in ambito di versante ed in ambito di fondovalle, dei territori che costituiscono i bacini idrografici nel loro complesso.

TECNOLOGIE UTILIZZATE

In riferimento ai settori di versante, la tecnica PSInSAR™ (A.Ferretti et al. 2003) rappresenta un efficace strumento per il monitoraggio dei movimenti di alcuni punti presenti sulla superficie terrestre, caratterizzati da peculiarità proprie adeguate e da condizioni al contorno particolari, e si basa sull'impiego di serie temporali di immagini radar, derivanti essenzialmente dai sistemi SAR satellitari (Synthetic Aperture Radar).

I Permanent Scatterers (PS) sono quindi bersagli radar, tipicamente rappresentati da parti di edifici, da strutture metalliche, da porzioni di rocce esposte, le cui configurazioni geometriche possono, nel caso di acquisizioni eseguite in tempi differenti, o non variare sensibilmente o variare con continuità. La tecnica di ricerca dei PS consiste in una articolata e complessa analisi statistica di serie di immagini, ottenute da acquisizioni SAR satellitari, eseguite in tempi differenti.

La tecnica di rilevamento basata sul DGPS (P. Dana, 1994; F. Buffa - 2001) può essere applicata, invece, con l'obiettivo di acquisire

dati morfologici ad alta risoluzione per la realizzazione di modelli digitali del terreno utili nell'analisi dei fenomeni di dinamica fluviale. Nello studio che è stato qui rappresentato la finalità ultima è quella di applicare, al D.T.M. così prodotto, un modello di simulazione statico delle altezze idrometriche che consenta di apprezzare cartograficamente l'estensione di aree potenzialmente inondabili all'interno di un centro urbano e consentire, nel Piano Regolatore Generale Comunale, la classificazione del territorio in funzione della pericolosità da inondazione.

FENOMENI DI VERSANTE

ANALISI DELLE BANCHE DATI PS E TARATURA LOCALE DEL METODO DI PROSPEZIONE

La disponibilità di banche dati satellitari PS, oltre a permettere una migliore conoscenza delle modalità evolutive delle manifestazioni dissestive incipienti, attive o pregresse, con tecniche di monitoraggio integrative a quelle tradizionali, può, in linea di principio, essere utilizzata come fonte di dati complementare per l'individuazione di porzioni di territorio che, nell'intervallo di tempo in cui sono disponibili dati SAR, sono state caratterizzate da buone condizioni di stabilità. Una tale applicazione è da considerarsi utilizzabile in particolare nel caso di non univoche, ma urbanisticamente penalizzanti, perimetrazioni in contesti dissestati di settori di versante antropizzati.

Al fine di permettere una più oggettiva discriminazione nelle discordanze osservabili tra dati storici, dati rilevati e banche dati tematiche, è stato sperimentato, per un caso di studio in Regione Piemonte (Comuni di Morsasco e Prasco - Prov. di Alessandria), un utilizzo integrativo della sovrapposizione, in ambiente G.I.S., tra i vari modelli già disponibili relativi al quadro del dissesto regionale (Banca Dati Geologica della Regione Piemonte, inventario I.F.F.I. e cartografia P.A.I.) ed i dati derivanti da tecniche di monitoraggio satellitare (M. Ramasco, Carlo Troisi - 2003); tali dati, relativi ad ubicazione e velocità medie annue di spostamento dei PS disponibili, hanno rappresentato elementi anche discriminanti nella verifica del quadro del dissesto desunto con altre metodologie di indagine od

assunto come riferimento. Per l'ambito territoriale in esame, l'analisi preliminare della distribuzione dei PS ha permesso le seguenti considerazioni:

- il seminato di bersagli PS permette di individuare n°685 punti utili di monitoraggio;
- la maggior parte dei PS è concentrata in corrispondenza ed in prossimità dei centri abitati principali;
- è presente un numero inferiore di PS in corrispondenza dei settori di versante che ospitano fabbricati isolati o centri abitati minori;
- è presente un numero minore di PS in corrispondenza di infrastrutture stradali e ferroviarie.

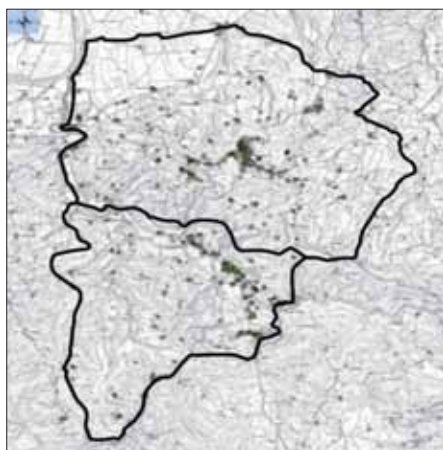


Figura 1

Successivamente alle valutazioni relative alla distribuzione territoriale dei bersagli PS individuati, è stata eseguita l'analisi statistica delle velocità medie rilevate per i caposaldi PS, finalizzata alla taratura locale del metodo di prospezione.

A tal fine si è assunto il presupposto che, in assenza di manifestazioni dissestive e/o di cedimenti dei terreni che possano avere determinato significativi spostamenti dei fab-

bricati, delle strutture o delle rocce esposte ospitanti i PS, l'intervallo di variazione delle velocità medie annue rilevate per tali bersagli radar possa essere ragionevolmente considerato come rappresentativo delle tolleranze locali del metodo di prospezione, e quindi costituire una taratura locale del metodo stesso.

L'analisi statistica eseguita per i PS presenti in corrispondenza di porzioni pianeggianti del territorio in esame, ricadenti al di fuori di aree considerate dissestate nelle banche dati di riferimento ed in cui non erano visibili o segnalate pregresse deformazioni (attribuibili all'evoluzione di manifestazioni dissestive od a cedimenti dei terreni) delle strutture ospitanti tali bersagli radar, ha permesso l'individuazione di intervalli di varia-

correlabili con l'evoluzione di manifestazioni dissestive.

VERIFICA PRELIMINARE DELL'ATTENDIBILITÀ DELLE BANCHE DATI TEMATICHE DI RIFERIMENTO

In relazione alla distribuzione areale dei PS, è stato possibile verificare come, soltanto per i settori antropizzati dell'ambito territoriale in esame, siano estrapolabili considerazioni significative in merito alla presenza di movimenti di versante, evolutisi nell'intervallo compreso tra gli anni 1991 e 2001. Al fine della verifica preliminare del quadro del dissesto, una prima applicazione delle velocità dei PS è stata quindi individuata nella valutazione dell'attendibilità delle banche dati di riferimento per i settori di versante antropizzati (cfr. Fig.2).

Per l'ambito territoriale in esame, la disponibilità di banche dati PS è quindi da considerarsi utilizzabile come fonte di dati complementare per l'individuazione di porzioni di territorio antropizzate che, nell'intervallo di tempo compreso tra gli anni 1991 e 2001, sono state caratterizzate da adeguate condizioni di stabilità, ma che possono essere erroneamente perimetrate in ambiti dissestati nelle banche dati di riferimento.

VERIFICA ED INTEGRAZIONE DEGLI STUDI GEOLOGICI A SUPPORTO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI.

Un quadro del dissesto prodotto a supporto di strumenti urbanistici sensibilmente difforme rispetto a quello riportato nelle banche dati di riferimento, in relazione ad ubicazione, perimetrazione e stato di attività delle manifestazioni dissestive, può determinare complesse problematiche di verifica durante le procedure di validazione da parte delle Direzioni Tecniche competenti. Tali problematiche possono diventare di maggior rilevanza nel caso in cui dette procedure interessino fenomeni franosi perimetrati in corrispondenza o in prossimità di settori di versante antropiz-

zione, nelle velocità medie annue rilevate per i PS, compresi tra +2,0 mm/a e -2,0 mm/a.

Per quanto in precedenza evidenziato, al fine della taratura locale del metodo, si sono considerati, nelle tolleranze di analisi, valori delle velocità medie annue dei PS compresi tra +2,0 mm/a e -2,0 mm/a; per l'ambito territoriale in esame, valori rilevati delle velocità medie annue dei PS compresi in tale intervallo sono quindi stati considerati non

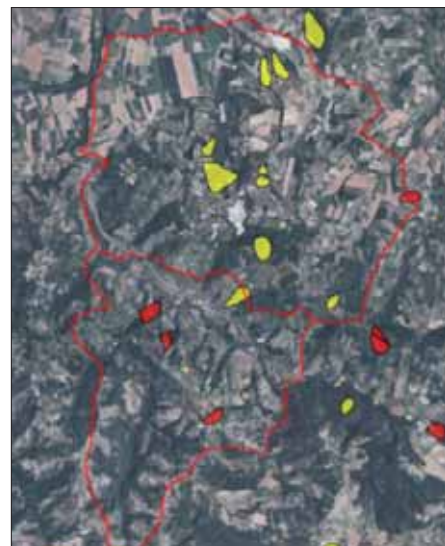
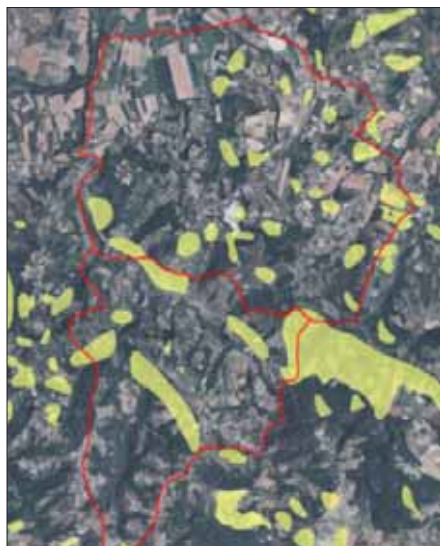


Figura 2

zati, determinando condizionamenti, anche rilevanti, sulle possibilità di utilizzazione del territorio. Per l'ambito territoriale in esame, in alcuni casi significativi, l'impiego sperimentale dei dati PS ha permesso un rilevante ausilio in relazione alla verifica del quadro del dissesto prodotto a supporto degli strumenti urbanistici. Nel seguito sono riportati alcuni esempi delle verifiche eseguite, utilizzando le banche dati PS, per la validazione del quadro del dissesto riportati sia nelle banche dati di riferimento (immagine a sinistra), sia negli

strumenti urbanistici comunali (immagine a destra).

È inoltre possibile osservare come, nel caso di centri abitati e settori di versante antropizzati (in linea di principio adeguati ad ospitare bersagli radar PS), ubicati in prossimità di manifestazioni dissestive a media e grande scala, anche l'assenza di bersagli PS possa rappresentare un utile indizio preliminare alla programmazione di locali approfondimenti di indagine; l'assenza di bersagli PS in contesti antropizzati può, di fatto, essere anche correlabile sia con spostamenti

eccedenti i valori massimi rilevabili dal metodo di prospezione, sia con variazioni di orientazione dei bersagli, conseguenti a detti spostamenti.

FENOMENI DI FONDOVALLE

TECNICA DI RILEVAMENTO BASATA SUL DGPS

In quest'analisi, la tecnica di rilevamento basata sul DGPS viene applicata con l'obiettivo di acquisire dati morfologici ad alta risoluzione per la realizzazione di un modello digitale del terreno. La finalità ultima è quella di applicare, al D.T.M. così prodotto, un modello



Figura 3 – Movimenti franosi prossimi ad un abitato principale.

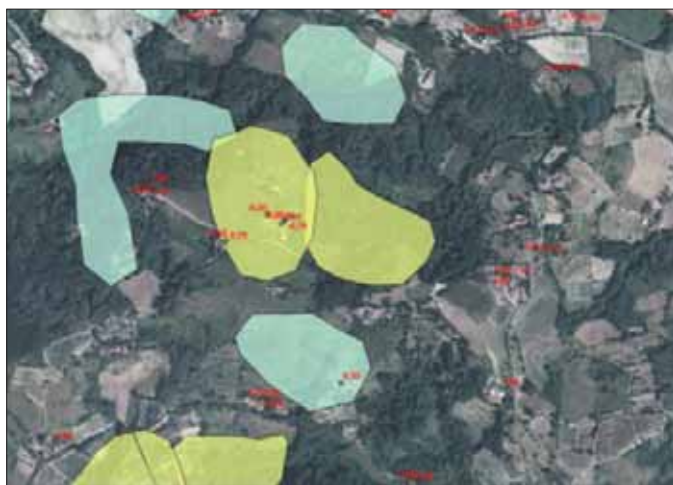


Figura 4 – Movimenti franosi prossimi a fabbricati isolati.



Figura 5 – Movimenti franosi prossimi a centri abitati minori.



di simulazione statico delle altezze idrometriche che consenta di apprezzare cartograficamente l'estensione delle aree inondabili all'interno di un centro urbano.

La strumentazione utilizzata è costituita da un ricevitore GPS Sokkia GSR2700 IS. Si tratta di un ricevitore GPS a doppia frequenza, di alta precisione, completamente integrato adatto per misure in Real time e in post-processing. Il GSR2700 IS ha una connessione wireless con tecnologia *Bluetooth™*,

METODOLOGIA DI STUDIO

Dall'archivio dell'Istituto Geografico Militare è stata tratta la monografia di un punto geodetico ubicato nei pressi di un'area campiona (Comune di Nizza Monferrato, Provincia di Asti), in corrispondenza del quale è stata posizionata una stazione master.

Attorno al perimetro di rilevamento sono stati rilevati, in modalità statica n. 4 punti di controllo e successivamente si è proceduto al rilievo topografico in modalità RTK dell'area di

definire geometricamente l'area potenzialmente inondabile da un corso d'acqua sulla base della topografia di dettaglio fornita da un modello digitale del terreno.

In riferimento a questo modello semplificato, è stato anche possibile classificare le aree inondabili in settori a diversa pericolosità in base alle differenti energie di deflusso derivanti dalle diverse altezze idrometriche (Fig.7).

Per le altezze idrometriche di riferimento si considerano i più alti valori effettivamente riscontrati in eventi "storici" e valori definiti "di progetto" riferibili alle opere idrauliche presenti.

IL SISTEMA INFORMATIVO

L'intera analisi territoriale fin qui sviluppata trova la sua massima espressione all'interno di un Sistema Informativo Territoriale.

I diversi layers informativi conterranno:

- Carta Tecnica Regionale
- Aerofotogrammi dell'area di riferimento, ortorettificati e georeferenziati e in scala coerente con la C.T.R.
- Rilievo topografico effettuato con tecnologia G.P.S.
- Modello Digitale del Terreno

Gli scenari di esondazione delineati con il modello di simulazione statica delle altezze idrometriche consentono di definire quali sono le aree da considerare effettivamente a maggior pericolosità in funzione di ciascun evento di esondazione

I riferimenti altimetrici di maggior interesse per l'applicazione del modello statico di simulazione delle altezze idrometriche derivano dall'analisi storica.

Interrogando il Sistema Informativo Territoriale, con semplici query, è quindi possibile effettuare un'ulteriore e conclusiva analisi. Sulla base di un criterio di gradualità, e facendo riferimento all'altezza idrometrica massima storicamente rilevata, che di norma risulta sempre ampiamente cautelativa rispetto alle quote di progetto riferibili alle opere di difesa e mitigazione delle piene fluviali, si giunge alla definizione di tre aree a differente pericolosità:

- area P1 a bassa pericolosità geomorfologica per i settori di territorio invasi da acque con altezze inferiori a m 0,50 sul piano campagna e quindi da considerarsi a bassa energia di deflusso
- area P2 a media pericolosità geomorfologica per i settori di territorio invasi da acque con altezze comprese tra m 0,50 e m 1,00 sul piano campagna e quindi da considerarsi a media energia di deflusso,
- area P3 ad alta pericolosità geomorfologica per i settori di territorio invasi da acque con altezze superiori a m 1,00 sul piano campagna e quindi da considerarsi ad alta energia di deflusso.

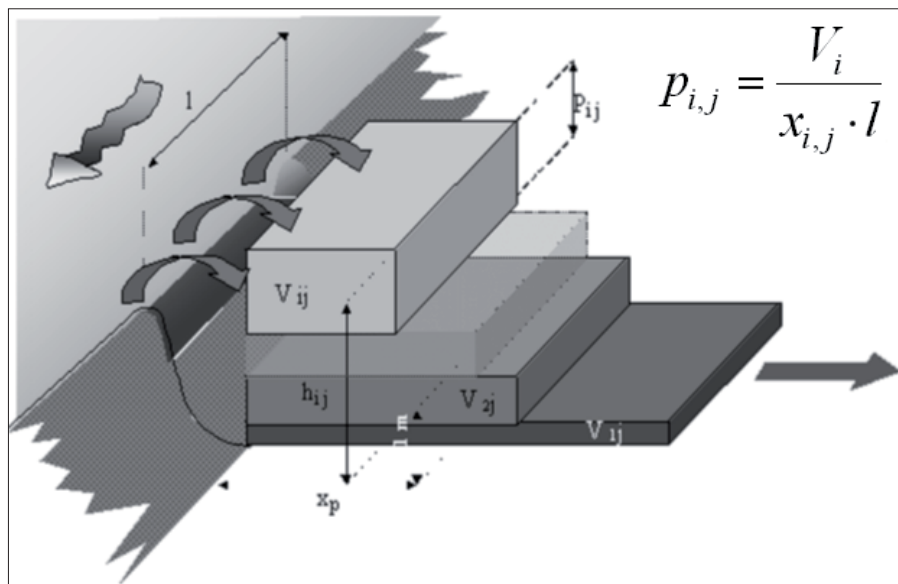


Figura 6 – Modello semplificato per l'individuazione delle superfici allagabili. L'acqua di piena si diffonde orizzontalmente in campagna per strati sovrapposti (approccio statico) e con velocità costante.

il dispositivo permette la comunicazione dei dati tra il ricevitore ed il registratore attraverso una comunicazione senza fili che evita quindi l'utilizzo di cavi. La trasmissione delle correzioni differenziali avviene utilizzando sia un radio modem interno UHF che un sistema GSM. Le coordinate ellissoidiche dei punti rilevati, riferite al sistema WGS84, sono state convertite in coordinate ortometriche con il software Verto 3 distribuito dall'Istituto Geografico Militare, in modo da consentire la georeferenziazione dei punti sulla Carta Tecnica Regionale secondo il sistema Gauss-Boaga.

riferimento. Nella successiva fase di post processing le coordinate dei punti rilevati sono state trasformate da ellissoidiche a ortometriche e riferite al sistema Gauss-Boaga, sono state poi integrate nel D.E.M. a bassa risoluzione già disponibile, per il suo infittimento, con interpolazione secondo il metodo del nearest neighbour. Ottenuto il D.E.M. ad alta risoluzione, si è proceduto alla definizione degli scenari di esondazione applicando il modello statico di simulazione delle altezze idrometriche.

Operativamente, un modello di simulazione statica delle altezze idrometriche può

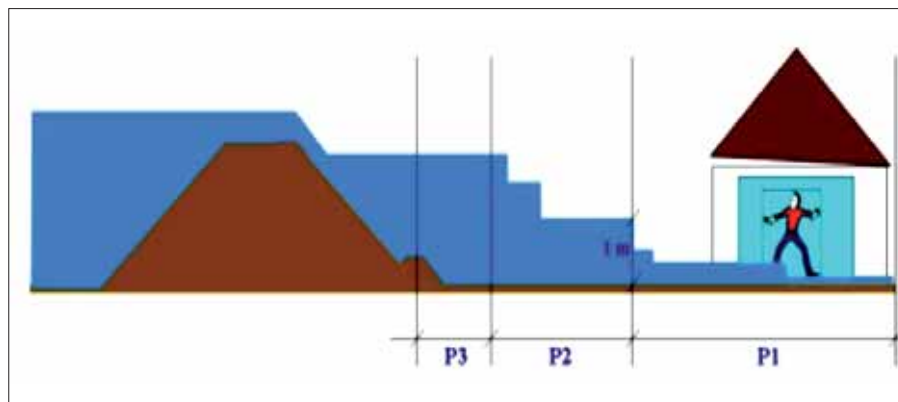


Figura 7 – Modello semplificato per la descrizione della dinamica di fuoriuscita delle acque dal corpo arginale. In base alle diverse altezze idrometriche è possibile definire l'andamento delle aree a maggiore o minore pericolosità.
Classe P3 con battente idrico > 1,00 m
Classe P2 con battente idrico < 1,00 m e > 0,50 m
Classe P1 con battente idrico < 0,50 m



Figura 8 – Simulazione di esondazione con altezza idrometrica corrispondente alla fase di esercizio di tutte le opere di sistemazione idraulica presenti sul tratto di asta fluviale di riferimento (in azzurro l'area inondata).

Da questa analisi appare chiaro come la definizione delle aree da sottoporre a particolari restrizioni urbanistiche in funzione della pericolosità da esondazione, potrebbe essere meglio articolata e fondata su parametri privi di qualsiasi soggettività.

CONCLUSIONI

In merito al quadro del dissesto relativo alle porzioni collinari del territorio in esame, al fine di ottenere criteri di discriminazione per le discordanze osservate tra dati storici, dati rilevati e banche dati tematiche di riferimento, si è proceduto alla sovrapposizione, in ambiente G.I.S., dei differenti modelli disponibili con dati derivanti da tecniche di monitoraggio da piattaforma satellitare. Tali dati, relativi alla ubicazione ed alle velocità di spostamento medie di bersagli radar PS, hanno rappresentato un rilevante ausilio in relazione alla verifica del quadro del dissesto, desunto con altre metodologie di indagine o assunto come riferimento, permettendo di articolare una proposta di applicazione del metodo seguito in fasi correlate e conseguenti, schematizzabili in:

- analisi e validazione puntuale dell'attendibilità delle banche dati di riferimento;
- analisi e validazione degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici comunali;
- integrazione degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici comunali.

Le applicazioni individuate sono dunque da considerarsi di significativa utilità, preliminarmente alla predisposizione degli strumenti di pianificazione territoriale, in particolare per centri abitati e settori di versante antropizzati, in corrispondenza dei quali è presente un numero adeguato di bersagli radar PS.

In merito al quadro del dissesto relativo alle porzioni di fondovalle del territorio in esa-

me, il metodo di analisi territoriale proposto, nella sua oggettiva semplicità concettuale, è risultato decisamente affidabile in relazione al confronto con le ricostruzioni cartografiche degli eventi storici registrati, considerando tutti i limiti insiti in queste ultime, e le variazioni topografiche intervenute nel tempo.

Altro grande punto di forza del metodo qui descritto riguarda la rapidità di esecuzione soprattutto se in presenza di un modello digitale del terreno ad alta risoluzione. Il rilevamento in situ con tecnica GPS ha consentito la costruzione di un D.T.M. ad alta risoluzione spaziale in tempi molto contenuti.

Dal punto di vista concettuale appare evidente come il dato relativo all'altezza idrometrica sia il più significativo ai fini della definizione della pericolosità da esondazione anche perché, sia pure in maniera indiretta, tiene conto di tutti gli elementi di incertezza e imponderabilità dell'evento reale senza ricorrere ad alcuna semplificazione o approssimazione. Operando sugli effetti finali di un'esondazione, il modello fotografa una situazione di pericolosità oggettiva che prescindere completamente dalle cause che la determinano: non è importante sapere se l'esondazione avviene per cause naturali o per problemi derivanti dall'incuria o dall'antropizzazione, è importante sapere quale sarà la superficie coinvolta in corrispondenza di una certa altezza raggiunta dall'acqua al momento dell'esondazione. Questo aspetto, unito alla rapidità di applicazione del metodo, costituisce uno strumento decisamente valido per la definizione delle aree a più alta pericolosità geomorfologica in caso di esondazione.

In quest'ottica, è assolutamente evidente che anche i costi di applicazione di un modello di simulazione statica delle altezze idrometriche risulteranno contenuti il che, obiettivamente, costituisce un ulteriore elemento di

interesse soprattutto ai fini dell'applicabilità del metodo in ambito di pianificazione territoriale e di pianificazione degli interventi in emergenza.

È tuttavia da considerare che il metodo descritto risulta efficace a scala di piano regolatore ed in aree di pianura, e può essere applicato a scala di bacino solo per porzioni di territorio relativamente omogenee; per contro tale metodo non è da considerarsi adeguatamente applicabile in aree collinari o montane o in presenza di elevate acclività.

BIBLIOGRAFIA

- BUFFA F. (2005), *G.P.S. Sistema di rilevamento satellitare della posizione - Il modello delle telecomunicazioni*.
- DANA P. (1994), *Globalpositioning system overview*, Dep. of Geography – University of Texas.
- MASO M. (2005), *Utilizzo della tecnologia LIDAR per l'analisi del rischio idrogeologico. SIT per la valutazione e mitigazione del rischio idrogeologico: tecniche geomatiche e strategie applicative sui bacini fluviali dell'Alto Adriatico*. Asita 2005.
- NICOTERA F., MASO M. (2007), *GPS technology and high resolution data to manage hydrogeological risk*, AESOP Congress Naples.
- A.FERRETTI, C.PRATI, F.ROCCA, B.YOUNG, N.CASAGLI, P.FARINA (2003), *Permanent Scatterers technology: a powerful state of the art tool for historic and future monitoring of landslides and other terrain instability phenomena*.
- M. RAMASCO, CARLO TROISI (2003), *Eventi alluvionali in Piemonte - Grandi fenomeni franosi attivatisi a seguito dell'evento dell'ottobre 2000 - Frana di Schiaffo nel Comune di Trasquera - Monitoraggio con tecniche satellitari*, ARPA. Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche.
- G.M. BOSETTI (2007), *Integrazione degli studi di carattere geologico e geomorfologico a supporto degli strumenti di pianificazione territoriale con tecniche di monitoraggio da piattaforma satellitare*, Tesi di Master in G.I.S. & Remote Sensing - IUAV Venezia.

Impatto dei recenti tsunami oceanici in relazione alla morfologia della zona costiera

FRANCO ORTOLANI
Ordinario di Geologia, Università di Napoli
Federico II

SILVANA PAGLIUCA
CNR-ISAFOM, Ercolano (Napoli)

Lo studio del materiale fotografico relativo alle aree devastate dagli tsunami del 26 dicembre 2004 e del 11 marzo 2011 ha consentito di ricostruire i più significativi impatti ambientali causati dalle masse d'acqua marina che hanno invaso la terraferma.

Un ruolo determinante, oltre alla vicinanza all'area tsunamigenica e all'esposizione alle onde, hanno avuto le caratteristiche morfologiche della fascia costiera.

È stato possibile ricostruire il massimo run up registrato nelle ampie pianure alluvio-

nali e nelle aree caratterizzate da strette pianure costiere sovrastate da versanti collinari; frequentemente, in queste ultime condizioni, sono stati raggiunti e superati i 30 metri.

È stato possibile, inoltre, definire l'altezza delle onde principali all'inizio della terraferma senza amplificazioni locali causate dalle variazioni morfologiche

Frequentemente l'altezza massima ha superato i 10 metri.

Tra i più devastanti effetti dei due tsunami sono da evidenziare quelli verificatisi quando le acque marine hanno superato lo

spartiacque lungo un istmo che separa una penisola lambita dall'oceano sui due lati. In tali casi l'acqua marina risalita fino ad oltre 30 m di altezza sul mare si è riversata rovinosamente sul versante opposto trasformandosi in un debris flow rapido con un eccezionale potere distruttivo.

Le evidenze raccolte consentono di affermare che, in relazione alla morfologia costiera, le masse d'acqua che dopo avere raggiunto il massimo run up sono ritornate verso l'oceano erano simili ad un debris flow che ha trascinato in mare oggetti e persone.



Figura 1 – (A sinistra), Schema tridimensionale dell'invasione dell'area emersa da parte dell'acqua costituente l'onda di tsunami, caratterizzata da una notevole larghezza ed enorme volume di acqua marina (in basso) ed esempio di quanto accaduto il 26 dicembre 2004 lungo le coste occidentali dello Sri Lanka (in alto).



Figura 2 – Schema tridimensionale che evidenzia la catastrofica invasione di un'area emersa, delimitata dall'Oceano sui due lati (schema in alto), quando l'altezza dell'acqua riversata sulla terra ha superato lo spartiacque e si è incanalata rovinosamente, in discesa, lungo il versante opposto (schema in basso), come accaduto nella città di Banda Aceh nella parte settentrionale di Sumatra e in molte altre zone abitate costiere lungo le aree depresse dell'India, Sri Lanka, Thailandia e Indonesia.

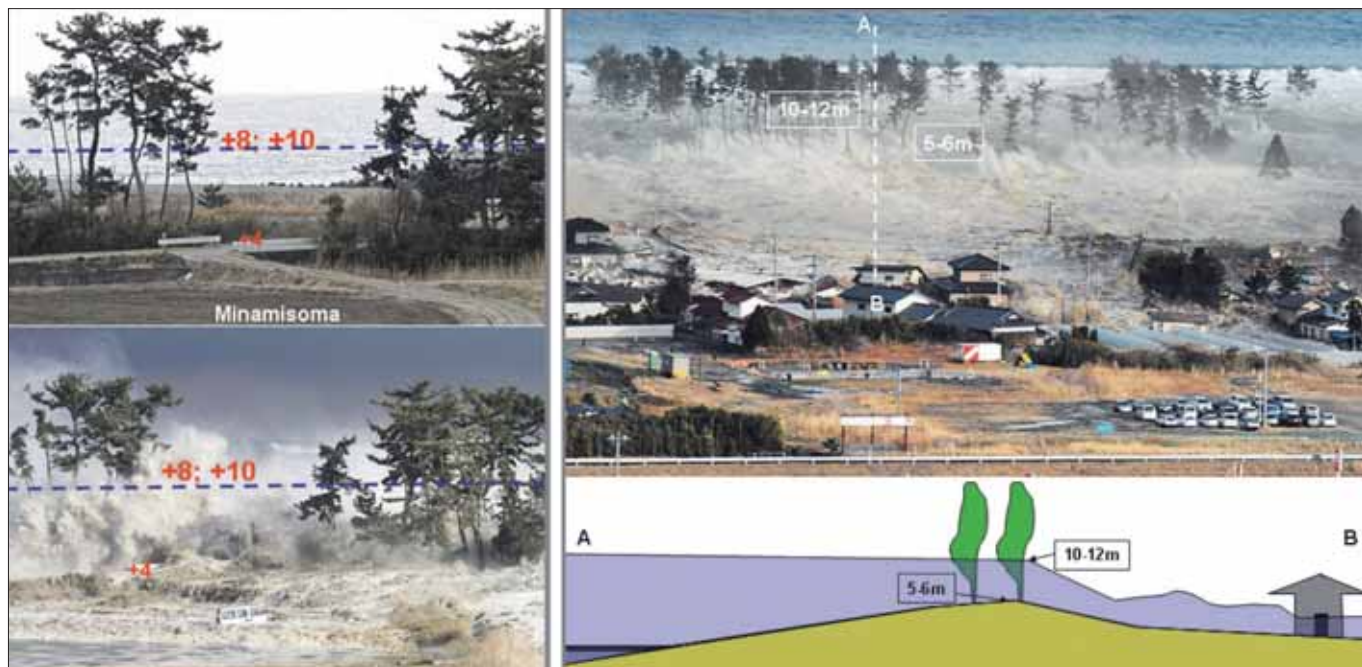


Figura 3 – Altezza del flusso di acqua marina quando ha invaso la vasta pianura alluvionale nella quale è ubicata la città di Sendai. Nella foto a sinistra in alto è illustrato lo stesso sito della foto in basso quando avviene l'invasione di acqua marina. L'altezza dell'acqua (linea blu tratteggiata) è valutata tra 8 e 10 m sul livello del mare. <la foto in alto a destra illustra l'invasione dell'acqua marina la cui altezza è stimata di 10-12 m. Il piano campagna è a quota di circa 5-6m mentre gli alberi sono invasi dall'acqua fino a 5-6 m di altezza come si vede nella sezione schematica A-B illustrata in basso a destra.

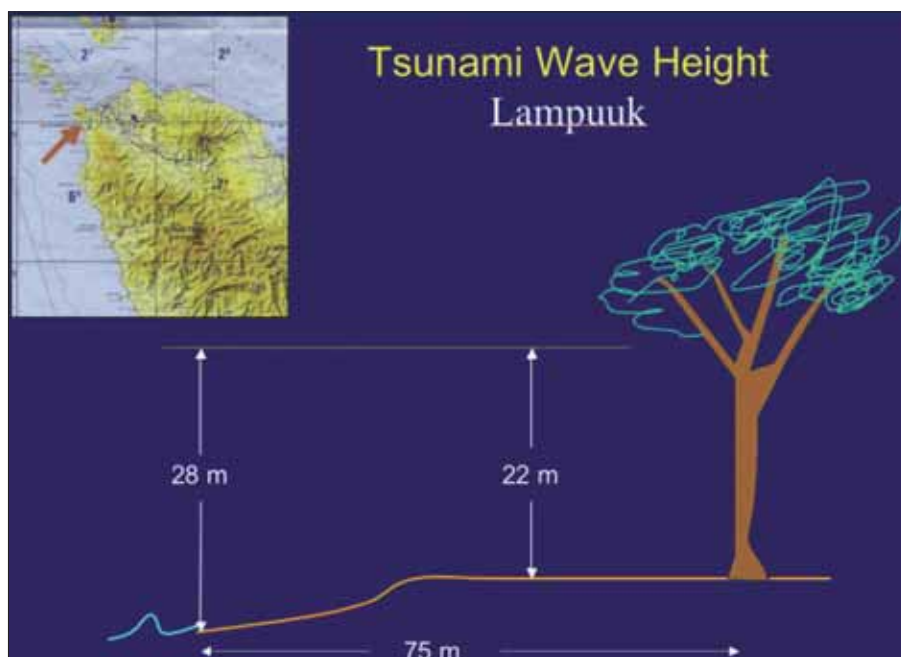


Figura 4 – Altezza dell'acqua marina raggiunta nella fascia costiera nella parte nordoccidentale di Sumatra durante lo tsunami del 26 dicembre 2004 ricostruita dai ricercatori del USGS.

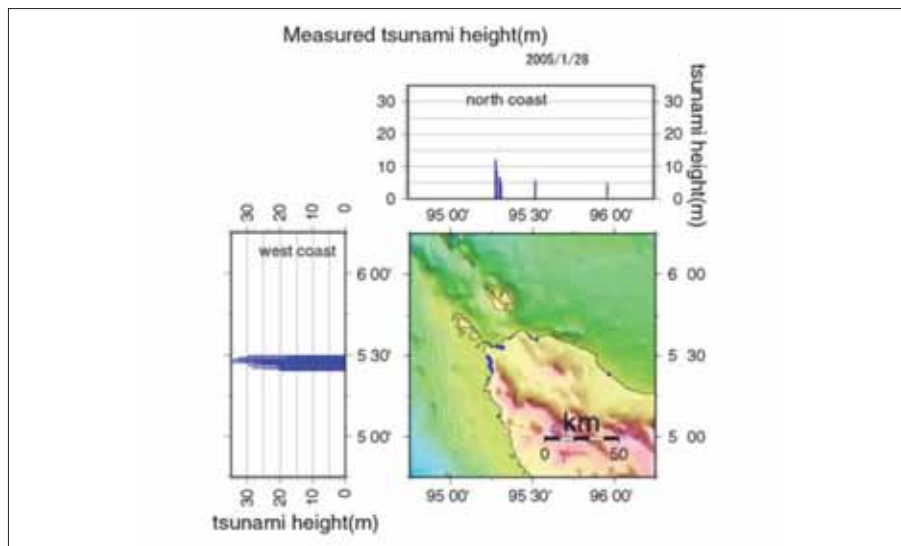


Figura 5: Sintesi del run up lungo la costa settentrionale e nordoccidentale di Sumatra ricostruita dai ricercatori del USGS. Il run up ha superato i 30 m lungo la costa occidentale di fronte all'area epicentrale del sisma tsunamigenico.

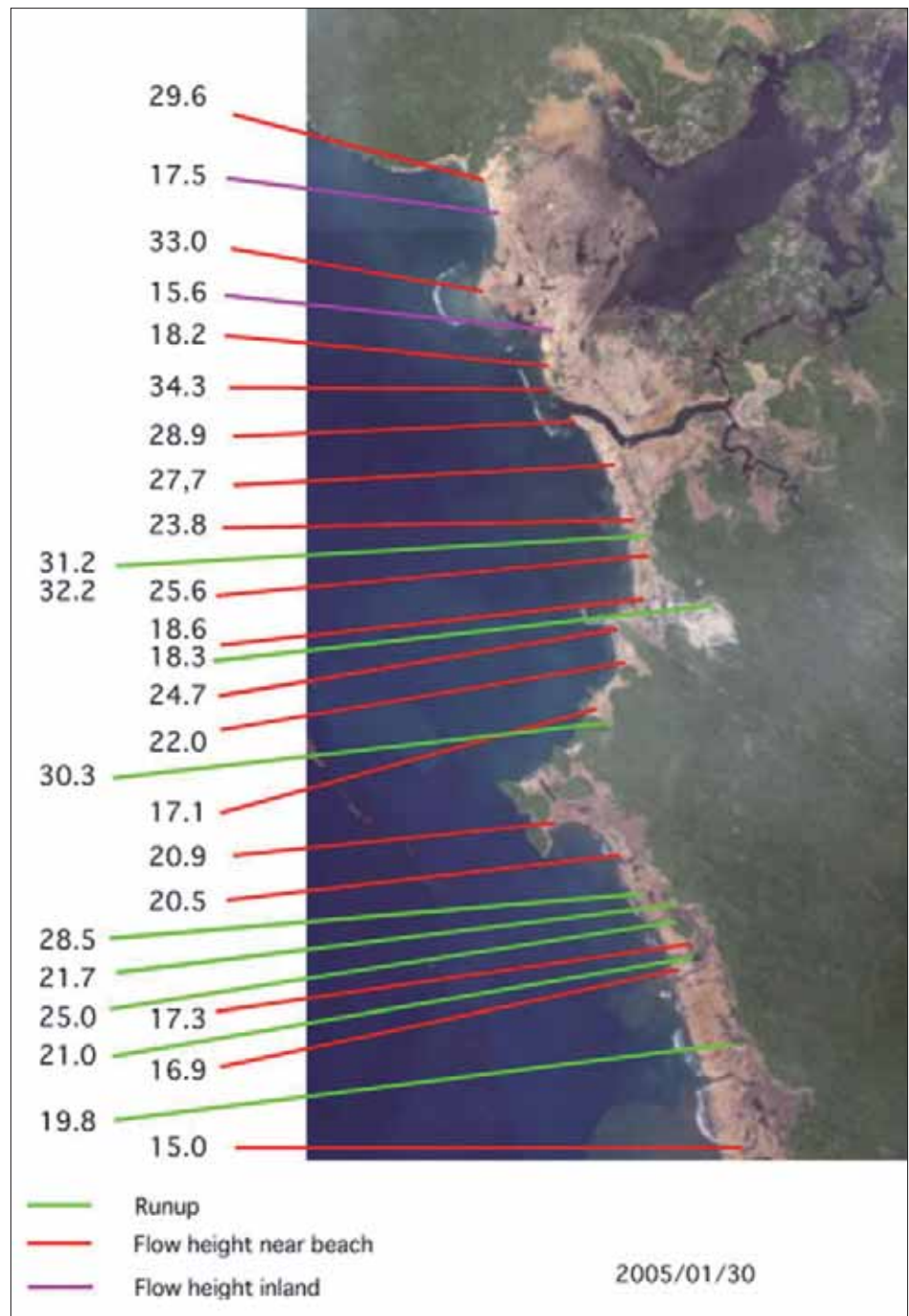


Figura 6: Sintesi dei dati relativi alla massima altezza lungo la costa e del del run alla base dei versanti della fascia costiera nordoccidentale di Sumatra ricostruita dai ricercatori del USGS.



Figura 7: Ricostruzione dell'altezza dell'acqua marina raggiunta sul water front a Kamaishi.



Figura 8 – Ricostruzione dell'altezza dell'acqua marina sul water front di Ofunato e nella pianura alluvionale nei pressi dell'aeroporto di Sendai.



Figura 9: Ricostruzione del massimo run up (circa 8 m) raggiunto dall'acqua marina nell'aeroporto di Sendai. Il flusso dopo avere superato le dune costiere, alte 4-5 m, con un'altezza di circa 8-10 m ha inondato la pianura e l'aeroporto fino a 4-5 km di distanza dal mare.



Figura 10: Effetti dello tsunami di Sumatra simili a quelli riscontrati in Giappone. Figura a sinistra in alto è indicato il percorso dell'acqua che ha superato lo spartiacque tra il versante sud occidentale e quello nord occidentale nell'area abitata di Banda Aceh (Sumatra settentrionale). Al centro è rappresentata l'area costiera di Banda Aceh prima dello tsunami; in basso è riprodotta la stessa area dopo lo tsunami. Figura a destra: Effetti dello tsunami che ha completamente distrutto le spiagge costituite da sabbia bioclastica ed ha asportato il suolo.



Figura 11: Devastante impatto (a destra) dell'acqua marina che ha invaso la città di Minamisanriku (a sinistra prima dell'evento). Il flusso di acqua e detriti è risalito fino a circa 50 metri di altezza (parte A delle frecce) per poi ritornare verso mare come un debris flow (parte B delle frecce).



Figura 12 – Il devastante impatto dello tsunami (al centro e a destra) nell'area urbana di Onagawa (a sinistra prima dell'evento). La città è ubicata su un istmo a forma di dosso con uno spartiacque a quota di circa 24-25 m. Il flusso di acqua marina e detriti lo ha superato riversandosi rovinosamente lungo il versante opposto (parte A della freccia). Il flusso di acqua e detriti di ritorno (frecce B) ha completato la distruzione.



Figura 13: L'area di Fukushima devastata dallo tsunami fino all'altezza di oltre 15 m, oltre il doppio del massimo run up previsto.

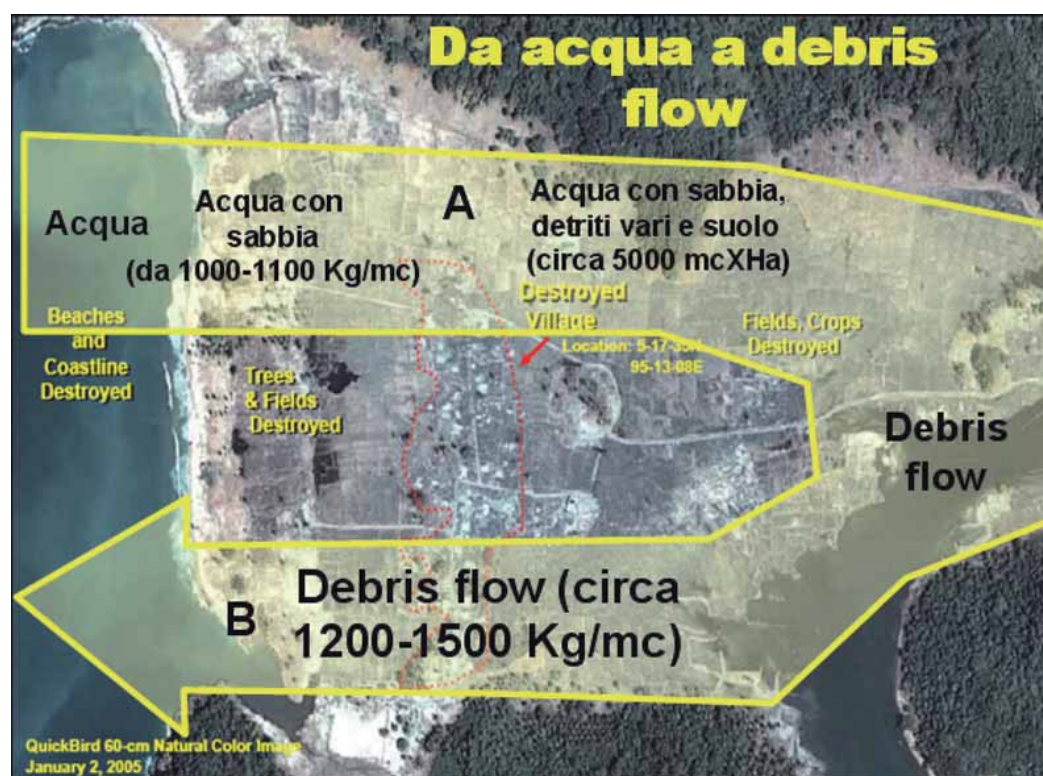


Figura 14: Schema della modificazione del flusso di acqua marina che invade la terra emersa costituita da una stretta pianura costiera addossata ai versanti collinari.

I rilievi eseguiti hanno consentito di individuare i diversi tipi di impatto che gli tsunami possono provocare in relazione all'ubicazione della struttura tsunamigenica e all'esposizione costiera alle onde.

I dati sopra sintetizzati rappresentano la base per valutare i pericoli costieri che interessano le coste italiane potenzialmente interessate da tsunami.

I più diffusi impatti geoambientali causati dai due tsunami sono stati:

- Distruzione parziale o totale delle spiagge (specialmente quelle prevalentemente costituite da sabbia organogena);
- Erosione del suolo;
- Salinizzazione del suolo (dove non è stato eroso) e della falda;
- Accumulo di sabbia e fango salmastro sulla superficie del suolo urbano e agricolo;

- Parziale distruzione delle barriere coralline nella zona di Sumatra.

I più diffusi impatti sull'ambiente antropizzato sono stati:

- Perdita di migliaia di vite umane;
- Distruzione di manufatti in elevazione (abitazioni, laboratori artigianali, fabbriche, negozi, depositi di carburante e materiale inquinante, strutture turistiche, ecc.);
- Distruzione di manufatti a raso (strade costiere, viadotti, ferrovie, strutture portuali, acquedotti, fognature, ecc.);
- Distruzione e gravi danneggiamenti di impianti industriali e artigianali;
- Distruzione di autoveicoli e imbarcazioni;
- Distruzione delle colture agricole e di manufatti agricoli (serre ecc.);
- Inquinamento del suolo e delle acque;

- Distruzione delle attrezzature per la pesca e l'acquacultura.

U.S. Geological Survey (1995) - The 26 December 2004 Indian Ocean Tsunami: Initial Findings from Sumatra.

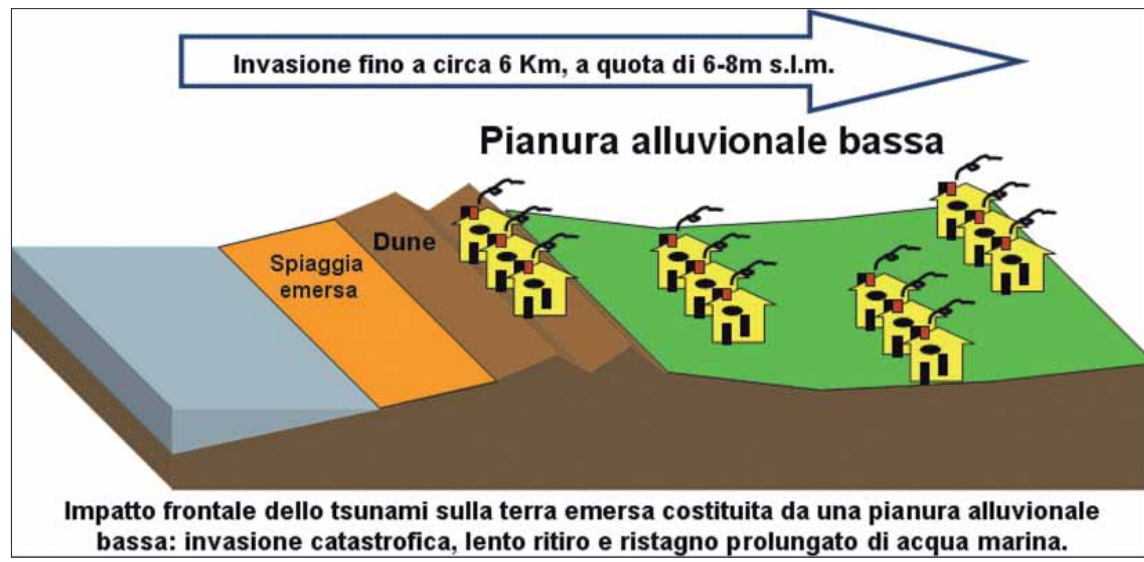


Figura 15 – Schema dell'impatto dello tsunami sulla terra emersa costituita da una vasta pianura alluvionale.

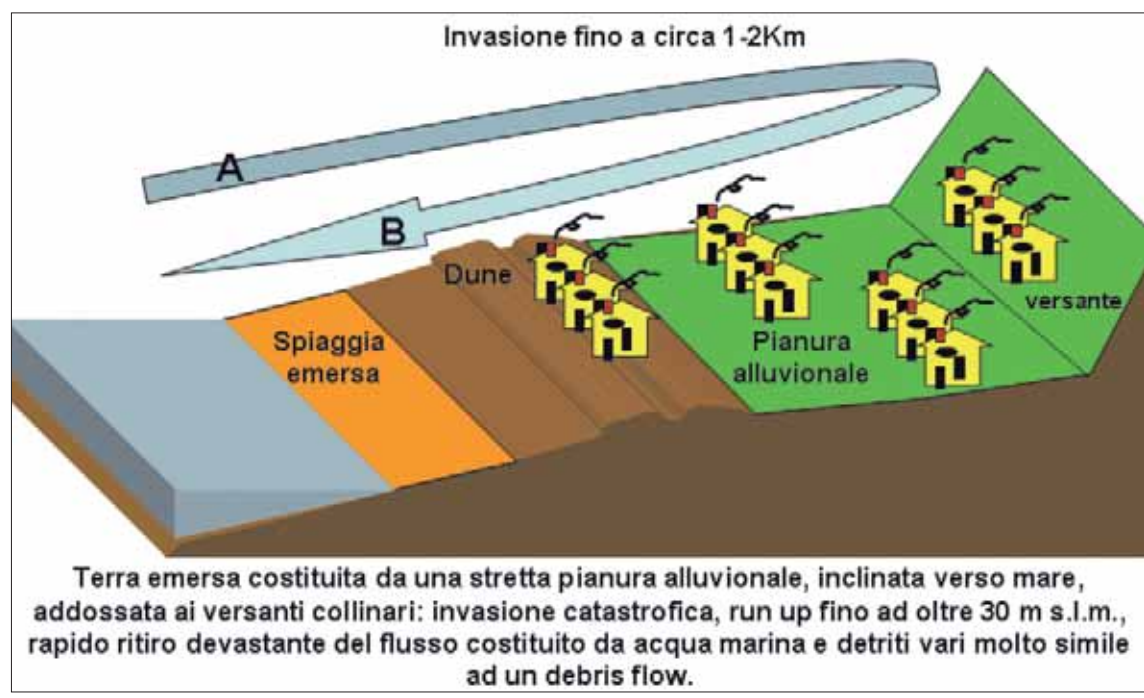


Figura 16 – Schema dell'impatto dello tsunami sulla terra emersa costituita da una stretta pianura alluvionale.

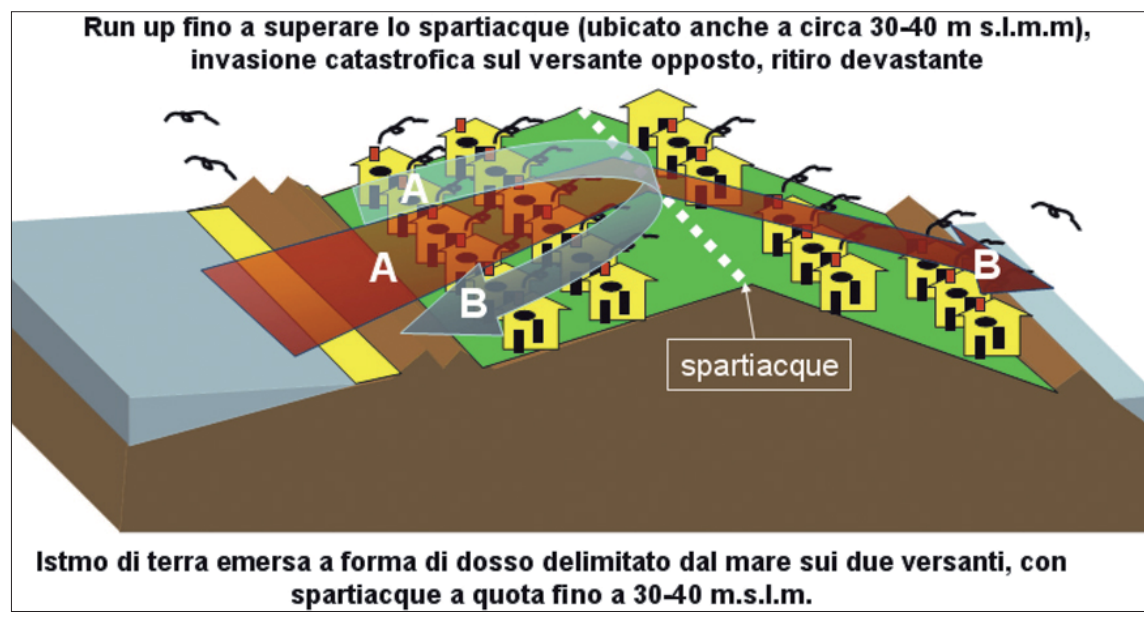


Figura 17 – Schema dell'impatto dello tsunami sulla terra emersa costituita da un istmo.

L'evento idrogeologico del 1° marzo 2011 di Mili San Pietro (Messina Sud) lancia l'allarme alvei-strada

FRANCO ORTOLANI
Ordinario di Geologia, Università di Napoli Federico II

PEPPE CARIDI
Meteoweb

SILVANA PAGLIUCA
CNR-ISAFOM, Ercolano (Napoli)

PREMESSA

Tra il 28 febbraio e l'1 marzo 2011 l'area compresa tra lo stretto di Messina e la Calabria meridionale è stata interessata da precipitazioni piovose molto intense che hanno causato vari dissesti e qualche vittima sul territorio calabrese (figura 1).

Nella presente nota si mette in evidenza l'impatto delle piogge sui versanti a monte dell'abitato di Mili San Pietro, piccola frazione meridionale di Messina, come testimonial di eventi che possono interessare centinaia di altri centri abitati (e molte decine di migliaia di cittadini) attraversati da alvei-strada urbani.

LE PRECIPITAZIONI PIOVOSE

Tra il 28 febbraio e l'1 marzo 2011 a Messina centro sono caduti circa 100 mm, a Sant Stefano di Briga e a S. Margherita (poco a sud di Mili) rispettivamente oltre 110 mm e oltre 150 mm. L'evento piovoso è stato generato dallo scontro di aria fredda proveniente da ovest e masse d'aria caldo-umide risalenti da sud che hanno dato origine ad un fronte temporalesco quasi stazionario che ha interessato una vasta area già caratterizzata da copiose precipitazioni piovose tra gennaio e febbraio 2010 (figura 1).

PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOAMBIENTALI DI MILI SAN PIETRO

L'abitato di Mili San Pietro è ubicato in sinistra orografica della Fiumara di Mili. Fino al 1954-55 l'area urbana era prevalentemente in sinistra orografica del Vallone Fodi, affluente della Fiumara di Mili (figura 2); una parte minore, separata dall'alveo naturale del Vallone Fodi, occupava la destra orografica (figura 2).

Lo sviluppo urbano successivo è avvenuto in destra e sinistra orografica del Vallone Fodi occupando la valle per alcune centinaia di metri verso monte. L'asse viario di penetrazione (significativamente chiamato Via Vallone) è stato ricavato ricoprendo l'alveo che è stato trasformato in alveo strada caratterizzato dalla presenza dell'alveo intubato sotto la sede stradale.

Una soluzione ingegneristico-urbanistica simile è stata realizzata, con interventi pub-

blici ritenuti eseguibili in sicurezza in base alle conoscenze idrauliche e geoambientali disponibili, in centinaia di aree urbane fin dall'inizio del ventesimo secolo.

Oggi è evidente che tali interventi strategici si stanno rivelando assolutamente inadeguati in relazione allo sviluppo dell'antropizzazione e dei cambiamenti climatico-ambientali in via di accentuazione da alcune decine di anni e alla crescente incuria del

Sono noti dissesti di versante cartografati nel PAI (figura 3).

Laddove i versanti hanno inclinazione compresa tra circa 30° e circa 45° l'insieme copertura di alterazione-suolo in occasione di eventi piovosi abbondanti e continui che causano una forte imbibizione idrica può alimentare colate rapide di fango come quelle che hanno devastato Giampilieri Superiore il 1 ottobre 2009.



Figura 1

territorio e mancanza di sistemi di allertamento e protezione civile preventivi in grado, almeno, di salvare la vita dei cittadini.

Si deve riconoscere che sono stati attuati diffusi interventi pubblici di "abusivismo ambientale" che hanno causato una occupazione del territorio senza considerare le leggi, l'evoluzione e i "bisogni" della natura.

Il bacino imbrifero a monte dell'alveo strada è vasto circa 30 ettari; il terreno è prevalentemente adibito ad attività agricole e in parte terrazzato. Sul substrato si rinviene una copertura di rocce alterate di spessore variabile da qualche decina di cm ad alcuni metri. Il suolo è generalmente caratterizzato da uno spessore variabile da alcune decine di cm ad oltre 1 m e non è incastrato nel substrato. I versanti sono caratterizzati da una inclinazione compresa tra 25 e 40 gradi e da una spiccata propensione al franamento dell'insieme copertura alterata-suolo.

I DISSESTI LUNGO I VERSANTI DEL BACINO IMBRIFERO HANNO ALIMENTATO I FLUSSI FANGOSO-DETRITICI CHE HANNO INVASO VIA VALLONE

Il bacino imbrifero di ampiezza limitata (circa 30 ettari) non avrebbe mai potuto originare i flussi detritico-fangosi che hanno invaso Via Vallone che sono stati alimentati da numerose vistose colate di fango innescate dalle abbondanti precipitazioni piovose, come si era già verificato il 10 marzo 2010 nel bacino imbrifero a monte di Mili San Marco ubicato pochi chilometri ad est.

Come accade solitamente le colate di fango innescatesi ed evolutesi lungo i versanti si sono riversate negli alvei e si sono incanalate scorrendo velocemente verso valle trasformandosi progressivamente in flussi veloci.

Si tenga presente che una sola colata di fango lunga 100 metri e larga 10 metri può fare accumulare nell'alveo un volume di

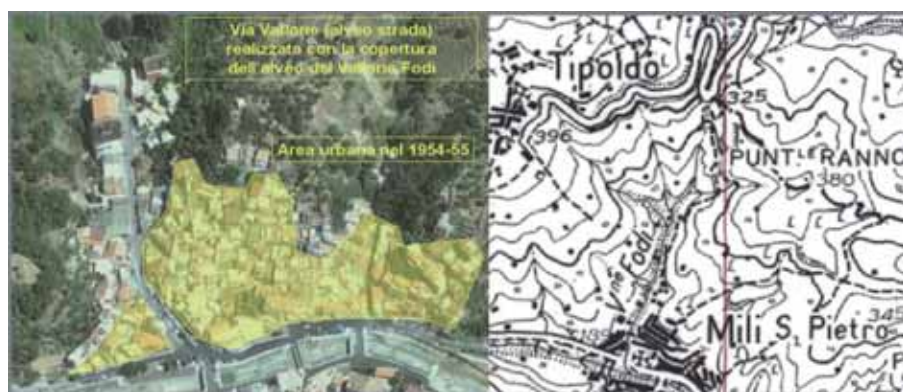


Figura 2 – A destra è riportato uno stralcio della carta topografica IGM del 1954-55 che evidenzia l'area urbanizzata dell'epoca e il Vallone Fodi che era ancora allo stato naturale scoperto nel tratto di attraversamento dell'abitato di Mili San Pietro. A sinistra, l'assetto attuale dell'abitato.

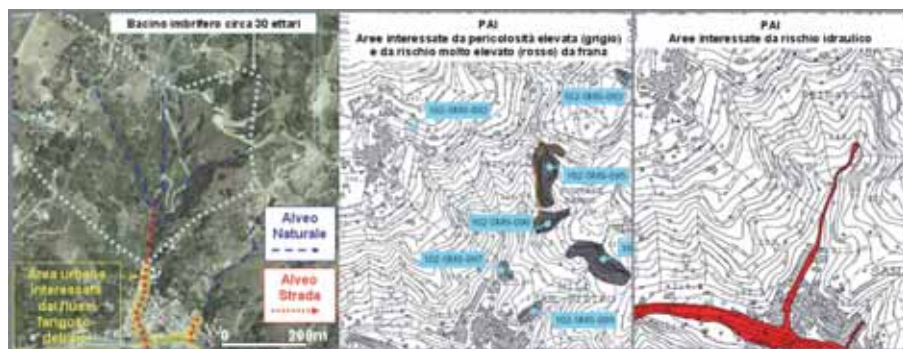


Figura 3: a sinistra è illustrata l'area abitata di Mili San Pietro (foto del 2010) ed è delimitata parte del bacino imbrifero a monte di via Vallone. In giallo trasparente sono evidenziate le zone urbane interessate dallo scorrimento dei flussi rapidi fangoso-detrilici. La figura al centro riporta uno stralcio del PAI nel quale sono individuate le parti dei versante interessate da dissesti. A destra, in rosso (dal PAI), sono evidenziate le strade che possono essere interessate da scorrimento di flussi fangoso-detrilici come accaduto l'1 marzo 2011.



Figura 4 – Colate di fango verificatesi nel bacino a monte di Mili San Marco tra il 1 ottobre 2009 e il 10 marzo 2010. A destra è illustrata l'area di Mili San Marco (foto del 2006; a sinistra (foto dell'agosto 2010) sono evidenti le varie colate di fango che si sono innescate ed evolute lungo i ripidi versanti a monte dell'abitato riversandosi lungo le strade, tra il disastroso evento del 1 ottobre 2009 e quello del 10 marzo 2010.

Figura 5 – versanti a monte di Mili San Marco interessati dai dissesti del 10 marzo 2010.

circa 1000 metri cubi di fango e detriti che scorrendo velocemente verso valle inglobano i sedimenti imbibiti d'acqua presenti sul fondo valle (alimentati anche da altre colate di versante) dando origine ad un flusso veloce avente le caratteristiche di un'onda di piena torrentizia.

Dal momento che le colate di fango possono essersi attivate in successione in un periodo di varie decine di minuti, verso valle, in Via Vallone, si sono riversati vari flussi fangoso-detrilici in successione e tali da alimentare una portata massima di qualche decina di metri cubi/secondo, come evidenziato dalle riprese video amatoriali.

SENZA LE COLATE DI FANGO LUNGO I VERSANTI NON VI SAREBBE STATA LA "PIENA" LUNGO LA VIA VALLONE

A monte di Via Vallone l'alveo strada che conduce a Tipoldo rappresenta l'alveo torrentizio pavimentato; al passaggio da quest'ultimo alla Via Vallone si trova una griglia che dovrebbe inghiottire i flussi di acqua e detriti provenienti dal bacino per smaltirli nella fognatura realizzata al di sotto di Via Vallone.

La griglia è assolutamente inefficace e può intercettare portate minime dal momento che vegetazione e detriti vari intasano normalmente le caditoie. Lungo gli alvei non esistono opere idrauliche e sistemazioni idrogeologiche tali da intercettare i detriti e laminare le piene.

Con l'assetto attuale è inevitabile che in seguito a precipitazioni consistenti si innesci un deflusso di acqua e detriti che deve necessariamente invadere la Via Vallone.

Tra il 28 febbraio e l'1 marzo 2011 l'area del messinese è stata interessata da forti precipitazioni (si stima che nella zona di Mili San Pietro possano essere precipitati oltre 100 mm in meno di 24 ore). Lungo i ripidi versanti a monte dell'abitato si sono innescati vari dissesti (crolli e colate di fango, figura 8) che hanno mobilizzato migliaia di metri cubi di sedimenti sciolti saturi d'acqua che si sono incanalati negli alvei scorrendo velocemente verso valle fino ad invadere gli alvei strada urbani con portate massime stimate di diverse decine di metri cubi/secondo lungo Via Vallone. Nella figura 9 è rappresentata la Via Vallone interessata dallo scorrimento rapido dei flussi fangoso-detrilici.

CONCLUSIONI

Nell'abitato di Mili San Pietro le intense piogge hanno provocato un grave evento alluvionale del tutto simile a quello accaduto



Figura 6: La Piazza San Marco (in alto, prima, e in basso, dopo, l'evento) invasa dai detriti trasportati dai flussi rapidi alimentati dalle colate di fango che si sono innescate ed evolute lungo i versanti a monte dell'abitato.

ad Atrani il 9 settembre 2010 (figura 17). La situazione ambientale dei due abitati è del tutto simile. La strada principale che da valle conduce alla parte alta dell'abitato è stata realizzata coprendo l'originario alveo torrentizio che è stato trasformato in alveo-strada. La portata torrentizia è stata tale da non poter essere smaltita dalla fognatura sotto la strada per cui, probabilmente anche a causa di una parziale ostruzione dell'imbocco dell'alveo coperto, una notevole quantità di acqua e detriti con alberi si è riversata lungo la strada che si chiama Via Vallone. Come ad Atrani, la notevole portata incanalatasi lungo la strada ha trascinato alcune decine di auto fino ad accatatarle in una strettoia della strada. Per fortuna il progressivo aumento della portata del flusso che scorreva lungo la strada ha allarmato i cittadini che sono riusciti a mettersi in salvo. Il grave evento avrebbe potuto avere conseguenze catastrofiche se si fosse verificato in un'ora di punta del traffico automobilistico e pedonale, ad esempio all'entrata o all'uscita delle scuole. Situazioni simili si rinvergono in migliaia di abitati ubicati alla base dei rilievi e centinaia di migliaia di cittadini sono potenzialmente esposti a serio pericolo. E' inutile dire che ancora non vi sono sistemi di allertamento efficaci e piani di protezione civile locali e di bacino in grado di garantire l'incolumità dei cittadini. La riduzione dei fondi pubblici per la difesa del suolo e dei cittadini è molto preoccupante ed è una via per raggiungere uno sciagurato obiettivo: protezione ambientale preventiva zero.

Gli eventi di Mili San Marco e Mili San Pietro hanno evidenziato che gli alvei strada rappresentano un grave pericolo che mette a rischio la vita di migliaia di cittadini. Basta che a monte degli alvei strada urbani vi sia un bacino imbrifero di dimensioni variabili da 10 a 30 ettari circa, con versanti ripidi impostati su una copertura di sedimenti sciolti non incastrati nel substrato che in seguito a precipitazioni piovose intense e prolungate possano innescare colate rapide di fango per



Figura 7: Piazza San Marco e strade adiacenti invase da fango e detriti il 10 marzo 2010.



Figura 8: Via Vallone di Mili San Pietro (prima, foto a sinistra) e dopo (foto a destra) l'evento del 10 marzo 2010.

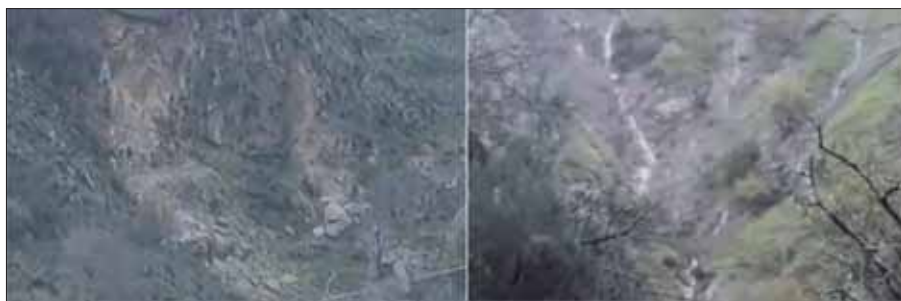


Figura 9: esempio di dissesti attivatisi il 1 marzo 2011 lungo i versanti a monte di Mili San Pietro.



Figura 10: Via Vallone di Mili San Pietro interessata dallo scorrimento dei flussi fangoso-detritici (area in giallo trasparente) del 1 marzo 2011. Le lettere minuscole indicano i siti ripresi nelle foto di seguito illustrate.



Figura 11: La parte orientale dell'abitato, lungo la Strada Provinciale, individuata con il cerchio nero nella foto 1 in basso, invasa da fango, detriti e alberi d'alto fusto trasportati da colate di fango innescatesi ed evolutesi nel bacino a monte, che era già stato interessato da colate tra il 1 ottobre 2009 e il 10 marzo 2010, ed incanalatesi nell'alveo strada indicato con c nelle foto in alto. La foto 2 e 3 mostrano lo sbocco dell'alveo strada rispettivamente prima e dopo l'evento del 1 marzo 2011. Le lettere minuscole indicano i punti di riferimento nelle foto 2 e 3.



Figura 12 – La grata che separa l'alveo strada pavimentato, proveniente da monte, che si immette nella Via Vallone. La grata, nelle intenzioni di coloro che l'hanno realizzata, dovrebbe inghiottire l'acqua, il fango e i detriti che affluiscono verso valle.

trasformare in torrenti, percorsi da flussi impetuosi, le vie urbane realizzate coprendo gli alvei originari.

Si deve tener presente che il bacino imbrifero a monte di Atrani è vasto circa 1000 ettari con lo spartiacque che raggiunge i 1000 m di altezza mentre i bacini a monte di Mili San Marco e Mili San Pietro sono vasti rispettivamente 10 e 30 ettari circa.

Non si tratta di portate causate dall'acqua di ruscellamento ma di flussi fangoso-detritici derivanti da colate di fango incanalate in alveo e provenienti dai ripidi versanti del bacino imbrifero.

Le ricerche eseguite in Campania nelle aree devastate dalle colate di fango (es. sarnese, Cervinara, Ischia) hanno messo in evidenza che le colate di fango innescatesi ed evolutesi lungo i versanti possono incanalarsi negli alvei trasformandosi in flussi veloci che possono percorrere tutta l'asta torrentizia inglobando i detriti ivi presenti. Si tenga conto che da un ettaro di versante interessato da colate di fango possono mobilizzarsi circa 10.000 metri cubi di sedimenti saturi d'acqua (compresa la vegetazione d'alto fusto) che scorrendo in alveo possono inglobare altre migliaia di metri cubi di detriti e vegetazione arbustiva ed arborea (figure 18, 19, 20).

In tal modo l'alveo e l'alveo strada possono essere invasi da flussi molto veloci e distruttivi. Più è lungo il percorso in alveo il flusso tende a diluirsi trasformandosi in un'onda di piena.

L'effetto lungo l'alveo strada è quello di un deflusso torrentizio.

La corretta comprensione del fenomeno evita di programmare in maniera non efficace eventuali interventi di sistemazione idraulica e idrogeologica.

In effetti se non si innescano le colate di fango dai ripidi versanti non si possono avere portate massime simili a quelle del 1 marzo 2011.

Gli eventi disastrosi tipo Atrani e Mili San Pietro non sono fenomeni irripetibili e isolati; essi sono molto preoccupanti perchè gli alvei strada nelle aree urbane sono moltissimi.



Figura 13: Via Vallone (foto a sinistra) ricoperta da fango e detriti dopo l'evento del 10 marzo 2010 (foto al centro) e percorsa dal flusso fangoso-detritico del 1 marzo 2011 (foto a destra) che ha causato l'accatastamento di numerose autovetture nella zona f dove la strada presenta un restringimento. Le lettere minuscole indicano i punti di riferimento evidenziati nella figura 9.



Figura 14: Via Vallone in condizioni normali (foto 1) e come si presentava nella mattina del 1 marzo 2011 mentre scorrevano veloci flussi fangoso-detritici con portata massima stimata di alcune decine di metri cubi/secondo e velocità variabile da 10 a 20 metri/secondo. Le foto 3 e 4 mostrano Via Vallone trasformata in un torrente impetuoso che trascina autovetture. Le lettere minuscole indicano i punti di riferimento evidenziati nella figura 9.

Gli alvei-strada sono mine innescate nei centri abitati. Non credo che si sappia quanti sono e dove sono nè il loro attuale livello di funzionamento.

Nè quante persone sono a rischio e quando sono a rischio mancando ogni controllo.

A livello nazionale si deve fare il censimento degli alvei strada e aggiornare lo stato di degrado e dissesto dei bacini imbriferi incombenti sugli alvei-strada e sullo stato degli alvei coperti.

Occorre poi mettere in funzione un sistema di allerta circa gli eventi tipo Mili San Pietro ed Atrani.

I cambiamenti ambientali che stanno avvenendo naturalmente causano un ispessimento dei suoli e dello strato alterato che diventa instabile in occasione di eventi piovosi continui e intensi. Si aggiunga che la stabilità del suolo viene continuamente alterata dagli incendi e da interventi non appropriati lungo i versanti.



Figura 15: Via Vallone in condizioni normali (foto 1) e come si presentava coperta di detriti (foto 2) nella mattina del 1 marzo 2011 alla fine dello scorrimento dei veloci flussi fangoso-detritici evidenziati nelle foto 3, 4 e 5.



Figura 16: Via Vallone a valle del sito f indicato in figura 9 prima (foto a destra) e dopo lo scorrimento dei flussi detritico-fangosi che hanno trascinato numerose autovetture causandone l'accatastamento in un restringimento della strada. I numeri evidenziano gli stessi soggetti ripresi nelle due foto.



Figura 17: Correlazioni tra il disastro idrogeologico di Atrani del 9 settembre 2010 e quello di Mili San Pietro del 1 marzo 2011.



Figura 18 (a sinistra): Il passaggio dall'alveo naturale all'alveo strada del Vallone (cava) Sinigallia poche decine di metri a monte dell'abitato di Casamicciola, assolutamente insufficiente per smaltire i flussi fangoso-detritici come quello del 10 novembre 2009. Figura 20: Il passaggio dall'alveo naturale all'alveo strada del Vallone (cava) Fasanietto poche decine di metri a monte dell'abitato di Casamicciola, assolutamente insufficiente per smaltire i flussi fangoso-detritici come quello del 910 novembre 2009.



Figura 19: Confronto tra gli effetti ambientali delle colate di fango riversatesi nell'alveo strada all'altezza di Piazza Bagni di Casamicciola Terme durante gli eventi del 10 novembre 2009 (linea gialla tratteggiata e linea rossa tratteggiata nella foto a sinistra) e dell'ottobre 1910 (linea verde. La lettera A individua la cappella presente nelle due immagini).



Figura 20: Quadro ambientale del bacino imbrifero a monte di Atrani. Dalle parti di versante interessate da incendi negli anni passati si sono innescati accentuati fenomeni erosivi che hanno dato origine al flusso fangoso detritico che ha invaso l'alveo strada di Atrani con portata massima stimata superiore a 100 metri cubi/secondo.

La copertura di un tratto urbano di alveo con sezioni idrauliche idonee, in un quadro di manutenzione del sistema bacino imbrifero-alveo-alveo coperto, si può trasformare in un pericolo serio per l'area urbana quando il delicato sistema viene abbandonato ed è privo di manutenzione continua e di attento monitoraggio.

La situazione ambientale sta rapidamente modificandosi per cui si deve intervenire per rendere sicuri gli alvei-strada. Basta un evento meno grave di quello del 1° ottobre 2009 nel messinese per causare numerose colate di fango e detriti, anche piccole, che complessivamente riversano sul fondovalle

migliaia di metri cubi di detriti che causano il veloce e progressivo colmamento dell'alveo e conseguente riduzione della sezione idraulica utile.

Le pubbliche Istituzioni devono immediatamente mettere a punto ed attuare moderni piani di protezione civile in modo da assicurare la tutela dei cittadini.

La rincorsa ai finanziamenti per mettere in sicurezza le molte aree nelle quali si hanno attualmente gravi pericoli per i cittadini avviene in un percorso difficile alla fine del quale raramente si rinvengono le risorse necessarie anche perché ingenti risorse finanziarie pubbliche sono dirottate lungo percorsi diversi

che non hanno come fine la sicurezza di tutti i cittadini.

BIBLIOGRAFIA

- ORTOLANI F., PAGLIUCA S. (2006), *Le colate di fango di Ischia del 30 aprile 2006*. Geologia dell'Ambiente 2010.
- ORTOLANI F. (2009), *Le colate di fango del 10 novembre 2009 di Casamicciola Terme (Ischia). Il Monte Epomeo ha retto. Hanno ceduto i versanti dei valloni pedemontani*. Climate Monitor, novembre 2009.
- ORTOLANI F., SPIZUOCO A. (2009), *Evento alluvionale del messinese del 1° ottobre 2009*. Geologia dell'Ambiente 2010.

Il dissesto idrogeologico in ambiente carsico

MARIO PARISE
CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione
Idrogeologica, Bari
e-mail: m.parise@ba.irpi.cnr.it

RIASSUNTO

L'ambiente carsico presenta caratteristiche intrinseche estremamente peculiari, che lo differenziano da altri ambienti naturali, e sono all'origine della notevole fragilità e vulnerabilità di tali territori. Il presente contributo descrive le principali situazioni di dissesto idrogeologico che possono verificarsi sul carso, evidenziando i gravi danni che ne possono derivare, sia in relazione all'antropizzato che insiste su queste aree, che alle risorse naturali in esso contenute. Si riportano pertanto alcuni casi di *sinkhole*, movimenti gravitativi, eventi alluvionali, oltre a situazioni di negativo impatto ambientale derivanti da attività antropiche su territori carsici.

FRAGILITÀ DELL'AMBIENTE CARSIICO

Le peculiari proprietà geologiche, morfologiche e idrogeologiche che caratterizzano l'ambiente carsico lo rendono estremamente fragile e delicato, probabilmente il più vulnerabile tra gli ambienti della superficie terrestre (WHITE, 1988). L'elevata vulnerabilità si riflette di frequente in situazioni di degrado e dissesto, che giungono a compromettere in maniera significativa gli ecosistemi carsici, a cominciare dalla loro manifestazione più nota, le cavità carsiche. Le perdite che ne derivano sono estremamente gravi, data anche la notevole difficoltà nel ripristinare le iniziali condizioni, o nel bonificare i siti oggetto di degrado. Distruzione (parziale o totale) di grotte, inclusi gli eccezionali depositi paleontologici, antropologici e archeologici eventualmente presenti, degrado nella qualità delle acque sotterranee, pericolo per specie in via di estinzione che caratterizzano gli ecosistemi carsici, perdita del paesaggio carsico rappresentano solo alcuni degli impatti negativi riscontrabili su territori carsici (NORTH *et alii*, 2009; PARISE, 2010b).

In tali ambienti, tra l'altro, esiste una connessione diretta tra superficie e sottosuolo e, come in nessun altro ambiente naturale, qualunque azione di degrado e/o inquinamento eseguita in superficie si ripercuote con tutto il suo potenziale di contaminazione nell'ambiente sotterraneo, senza alcuna possibilità di auto-depurazione del sistema. Ciò

determina serissime conseguenze in termini di perdita nella qualità delle risorse naturali contenute nel carso (*in primis* l'acqua), e di degrado degli ecosistemi carsici, con situazioni di frequente irreversibili. Risulta quindi di estrema facilità il causare danni ambientali, mentre il ripristino delle originarie condizioni naturali è estremamente complesso ed oneroso economicamente.

SITUAZIONI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO SINKHOLE

Un *sinkhole* è definito come una depressione circolare in ambiente carsico, con drenaggio sotterraneo e dimensioni tra i metri e le decine di metri. In molti casi, tale termine è anche utilizzato come sinonimo di dolina, la forma carsica superficiale per eccellenza, che caratterizza vasti territori con affioramento di rocce solubili (BABOCI *et alii*, 1991; PARISE, 1999; SAURO, 2003). Nell'accezione comune, il termine *sinkhole* è ormai utilizzato in un senso ben più ampio dell'originaria definizione, anche per indicare sprofondamenti in aree non carsiche, o connessi ad attività antropiche, prevalentemente per presenza di cave o miniere sotterranee. La recente classificazione di WALTHAM *et alii* (2005), tradotta in italiano da PARISE & FLOREA (2008), distingue sei tipi di meccanismi che possono determinare la formazione di *sinkholes*: i) *sinkhole* da dissoluzione; ii) *sinkhole* da crollo; iii) *sinkhole* della copertura; iv) *sinkhole* da richiamo; v) *sinkhole* da suffosione; vi) *sinkhole* sepolto.

Dati i limiti di spazio a disposizione, in questa sede non si entra nel dettaglio delle differenze tra le varie tipologie, per le quali si rimanda il lettore alle pubblicazioni su citate. Vanno però posti in evidenza almeno due elementi, e in particolare la grande varietà di morfologie dei *sinkhole*, anche per quanto riguarda i caratteri morfometrici (Fig. 1), e la difficoltà nell'individuare segni premonitori delle fasi catastrofiche e, di conseguenza, nel mitigarne i rischi connessi.

In riferimento agli aspetti morfometrici, i *sinkhole* da collasso presentano in genere diametri fino a qualche centinaio di metri e profondità massime di circa 100 metri, con forma nettamente circolare e pareti verticali (CASTIGLIONI & SAURO, 2000). In pressochè

tutte le altre categorie, l'acclività delle pareti risulta meno accentuata, il che conferisce una complessiva forma a imbuto ai *sinkhole*, con profondità massima in corrispondenza del punto o zona di richiamo e/o di infiltrazione del materiale (DELLE ROSE & PARISE, 2002; BRUNO *et alii*, 2008; PARISE, 2008b; DEL PRETE *et alii*, 2010). Le dimensioni sono in genere nell'ordine delle decine di metri, con profondità sino a 20-30 m. Nei casi di fenomeni più antichi, è frequente che la morfologia del *sinkhole* venga poi modificata a causa della presenza di detriti al suo interno, del riempimento con materiali colluviali, e della possibilità di ulteriori fasi all'interno del *sinkhole* originario (*sinkhole* multi-fase; FESTA *et alii*, 2010).

I *sinkhole* rappresentano un pericolo estremamente subdolo, dato che in molti casi gli sprofondamenti sono preceduti da lunghe fasi di diminuzione nella resistenza dei materiali, prima del collasso finale. Quest'ultimo si può verificare nel giro di pochi minuti, in maniera catastrofica, per cui ne deriva un'elevata pericolosità per l'ambiente antropizzato. Sono pochi i segni premonitori che si possono osservare prima del collasso finale: lesioni e/o fratture, graduale abbassamento del suolo, ecc. Non sempre l'entità di tali segnali risulta percepibile all'uomo, e ciò determina un aumento della vulnerabilità.

La presenza di *sinkhole* pone problemi in termini di sicurezza, specialmente in aree frequentate dall'uomo, o sulle quali insistono strutture ed infrastrutture antropiche (Fig. 1). L'importanza assunta negli ultimi decenni dai fenomeni di *sinkhole* è tale che in alcuni paesi essi sono oggetto di estrema attenzione da parte di società assicurative e studi legali, a causa dei notevoli danni derivanti all'ambiente antropizzato. Numerose attività antropiche possono infatti favorire, se non causare, la formazione di *sinkhole* (PARISE, 2010b): variazioni nel drenaggio sotterraneo, sovraccarico su cavità naturali e/o artificiali, scavi in sotterraneo, vibrazioni connesse a traffico o attività di altro tipo (perdite dalle condutture, infiltrazioni di acqua, mancanza di raccolta delle acque di ruscellamento, ecc.). L'uomo può quindi, da un lato essere "vittima" dei *sinkhole*, sia in termini economici che con perdita di vite umane, e dall'altro agire fa-

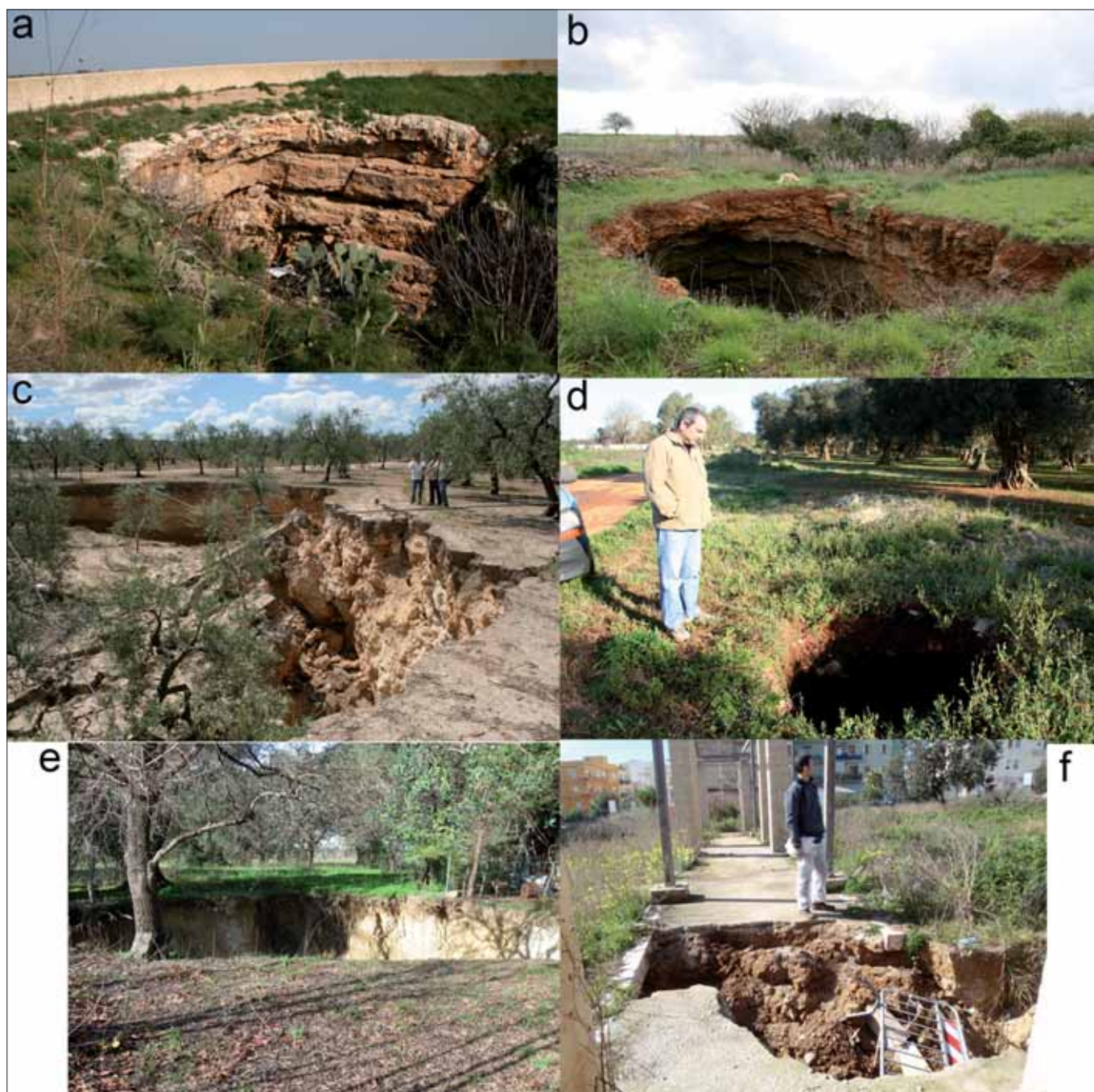


Figura 1 – Sinkhole nel territorio pugliese, causati da fenomeni naturali (a) Grave di San Leonardo; b) Vora Nuova Spedicaturo) e antropici (c) Barletta; d) Poggiardo; e) Cutrofiano; f) Gallipoli). La fotografia e) è di G. Quarta.

vorendo o addirittura innescando i processi stessi. Ogni qualvolta il ruolo svolto dall'uomo risulta chiaramente imputabile tra le cause che hanno determinato la genesi di un *sinkhole*, sarà possibile parlare di *sinkhole* indotto da attività antropiche. Il processo genetico, che conduce alla formazione vera e propria del *sinkhole*, può in ogni caso essere ricondotto ad una delle sei tipologie definite da WALTHAM *et alii* (2005) e descritte in precedenza.

FRANE

In ambiente carsico, alle usuali condizioni predisponenti i movimenti gravitativi si aggiunge la presenza di condotti e fessure di origine carsica, o di vere e proprie cavità sotterranee. Sia vuote, che se riempite da materiali residuali e/o detritici, tali elementi

creano in genere un ulteriore indebolimento dell'ammasso roccioso, che risulta di conseguenza maggiormente soggetto a fenomeni di instabilità, i quali avvengono tanto in sottoterraneo che in superficie, con tipologie che generalmente caratterizzano gli ammassi rocciosi fratturati (Fig. 2). Lungo le pareti verticali o sub-verticali (fianchi laterali di forre e canyons, pareti rocciose, falesie costiere) sono diffusi crolli e ribaltamenti, governati dai sistemi di discontinuità a giacitura sub-verticale (ANDRIANI & WALSH, 2007; PARISE, 2007, 2008a). Scorrimenti traslativi, seppur meno diffusi, caratterizzano invece i pendii a minore acclività, preferibilmente con assetto strutturale a franapoggio. All'interno delle cavità sotterranee si identificano altresì ulteriori fenomenologie, con crolli dalla volta, che

in genere tendono a risalire progressivamente verso l'alto, creando una morfologia di tipo circolare o ellittico (LOLLINO *et alii*, 2004; IOVINE *et alii*, 2010). Nel caso di ammasso roccioso ben stratificato, il distacco sotto forma di lastre è anche frequente, specie nel caso in cui la larghezza degli ambienti diviene eccessiva rispetto all'altezza (WHITE & WHITE, 1969).

In molti sistemi carsici gli ambienti di maggiori dimensioni sono localizzati nelle zone di intersezione di più sistemi di discontinuità. L'elevato numero di crolli che si verifica produce la presenza di ammassi caotici di detriti rocciosi, ed è all'origine di alcune tra le più ampie caverne sotterranee, come il Salone del Caos, nel sistema carsico della Gran Caverna di Santo Tomàs, a Cuba (Fig. 3; PARISE *et alii*, 2005).

EVENTI ALLUVIONALI

La presenza di acqua in superficie risulta estremamente limitata in ambiente carsico. Dopo percorsi in genere brevi, l'acqua tende infatti ad infiltrarsi nel sottosuolo attraverso la rete di fratture e discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso. D'altra parte, la mancanza di corsi d'acqua superficiali per gran parte dell'anno fa sì che, nelle poche occasioni in cui la quantità di pioggia è tale da non essere immediatamente assorbita, si possano verificare situazioni problematiche, ed eventuali danni.

Allorquando si registrano eventi di pioggia particolarmente intensi e/o prolungati, può infatti accadere che inghiottitoi e vie di infiltrazione non siano in grado di smaltire adeguatamente gli ingenti volumi idrici che vi confluiscano (DELLE ROSE & PARISE, 2010). Si determinano pertanto allagamenti, che possono richiedere vari giorni di tempo per poter essere drenati completamente (MARGIOTTA *et alii*, 1979; CARROZZO *et alii*, 2003). In ogni caso, essi determinano seri danni all'agricol-

tura e, laddove l'uomo ha utilizzato i settori topograficamente depressi per costruzioni civili o industriali, anche all'ambiente antropizzato (BISSANTI, 1972; OROFINO, 1990; CE.RI.CA., 1996; PARISE, 2003). Gli effetti di tali eventi sono stati ulteriormente aggravati, nel corso dell'ultimo secolo, dalle impermeabilizzazioni del territorio, con strade asfaltate che hanno progressivamente sostituito sentieri sterrati e strade di campagna.

ATTIVITÀ ESTRATTIVA

Le attività estrattive sono certamente da annoverare tra le azioni antropiche che producono il maggiore impatto negativo sul paesaggio, e che potenzialmente concorrono anche a più generali situazioni di degrado ambientale (Parise & Pascali, 2003; Parise, 2010a). E' infatti frequente che, una volta cessata l'attività, le cave abbandonate diventino siti di discarica abusiva di rifiuti, con conseguente inquinamento (Delle Rose *et alii*, 2007). In ambiente carsico i danni derivanti da attività estrattiva sono ancora più

seri che altrove, con frequente distruzione di grotte (FORMICOLA *et alii*, 2010).

Le situazioni di maggiore interesse in relazione a eventi di dissesto idrogeologico derivano, in particolare, dalla presenza di cave sotterranee, utilizzate in epoche passate per la estrazione di materiali da costruzione (BARNABA *et alii*, 2010). Cave ipogee sono molto diffuse nei territori carsici con copertura di rocce calcarenitiche plio-pleistoceniche al di sopra del substrato calcareo Mesozoico. Specialmente allorquando le cave sono localizzate a piccola profondità (entro i primi 10 m dalla superficie) l'evoluzione per dissesti da volta e pareti degli ambienti ipogei può progredire verso l'alto, sino a determinare lo sviluppo di *sinkhole*. Negli ultimi anni si è registrato in Puglia un preoccupante aumento di eventi da *sinkhole* connessi a cave sotterranee (PARISE, 2011; PARISE & FIORE, 2011).

CAMBIAMENTI DI USO DEL SUOLO

Variazioni di uso del suolo possono produrre significativi cambiamenti in ambiente

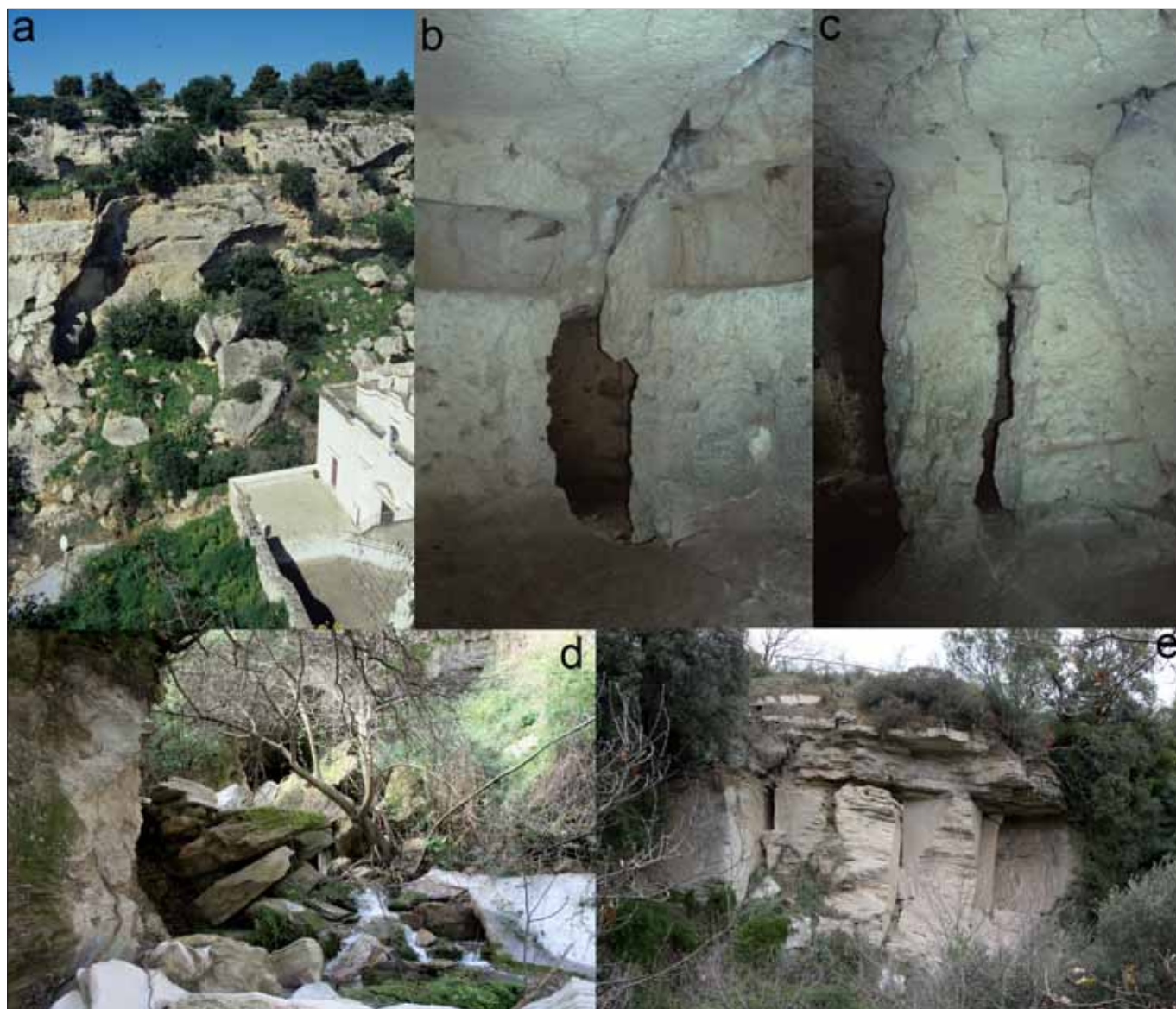


Figura 2 – Dissesti in ambiente carsico: a) crolli nella gravina Madonna della Scala a Massafra; b, c) dissesti all'interno di cavità artificiali a Mottola; d, e) crolli e ribaltamenti nei gessi di Verzno, in Calabria.



Figura 3 – Rilievo del Salon del Caos, Gran Caverna di Santo Tomàs, Cuba (da spedizione Santo Tomàs 2003).

carsico, favorendo processi di dissesto idrogeologico e degrado naturale. E' il caso, ad esempio, delle pratiche di spietramento, da sempre eseguite in territori carsici del Mediterraneo, al fine di liberare parte dei campi dalle pietre e disporre di una maggiore estensione di aree coltivabili (CANORA *et alii*, 2008; PARISE, 2009). In passato, tale operazione era rigorosamente eseguita a mano dall'uomo, ed il materiale che ne derivava era riutilizzato per costruire le tipiche abitazioni rurali pugliesi o per erigere i muretti a secco.

L'utilizzo di macchinari per lo spietramento dei campi è stato via via crescente nel corso degli ultimi decenni, e molti ettari di terreno sono stati interessati da spietramento intensivo, con grandi volumi di roccia calcarea estratti dal suolo. Di conseguenza, ampie distese dei territori carsici sono state fortemente cambiate, perdendo l'originario assetto naturale. In molti casi, inoltre, ingenti

quantitativi di pietrame derivanti dallo spietramento sono stati riversati nelle cavità carsiche, o accumulati al margine di inghiottitoi. In aggiunta alla scomparsa di molte grotte, il principale effetto negativo dello spietramento consiste nella distruzione dell'epicarso (WILLIAMS, 2008), che svolge una funzione di vitale importanza per gli ecosistemi carsici, regolando l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo, ed il suo assorbimento. Eliminando tale strato si facilita fortemente la rimozione delle singole particelle di terreno ad opera degli agenti esogeni, anche su pendenze bassissime, con notevole aumento della capacità erosiva.

INTRUSIONE SALINA

Ambienti carsici costieri possono essere interessati da fenomeni di intrusione salina, a causa dell'avanzamento verso l'entroterra dell'interfaccia tra acqua dolce e acqua salata. Specialmente nel caso di zone con lunghi

tratti di costa (ad es., la Florida, o la penisola pugliese) tale avanzamento può risultare particolarmente significativo, coinvolgendo gran parte delle terre emerse. Il fenomeno deriva da sovrasfruttamento della falda acquifera, a causa di emungimenti incontrollati, che di frequente avvengono da pozzi abusivi, e si concentrano nelle stagioni di maggiore presenza umana sul territorio, come nel corso della stagione estiva. Gli effetti derivanti sono fortemente negativi, con riduzione dei volumi di risorse idriche disponibili, ed emungimento di acque salmastre.

INQUINAMENTO

I caratteri idrologici e idrogeologici dei territori carsici fanno sì che il pericolo di inquinamento risulti estremamente elevato: la possibilità di propagazione di sostanze inquinanti attraverso la rete di condotti carsici presente nell'ammasso roccioso, e lo scarso



Figura 4 – Cumuli di rifiuti in cave sotterranee a Cutrofiano (a, b) e in cave a cielo aperto a Ugento (c).

contrasto alla propagazione delle stesse (elevata velocità di flusso, scarsa capacità di auto-depurazione), determinano un potenziale alto impatto degli inquinanti in falda, con conseguenze disastrose (SSI-CAI, 1989). La connessione diretta tra superficie e sottosuolo nel carso, inoltre, amplifica notevolmente l'impatto negativo derivante da eventi di inquinamento che avvengono in superficie, da abbandono di sostanze tossiche a presenza di discariche abusive, tanto in esterno che all'interno di cavità carsiche o antropiche (Fig. 4).

CONCLUSIONI

La fragilità dell'ambiente carsico impone necessariamente una particolare attenzione alla salvaguardia del carso e delle risorse naturali in esso contenute. D'altra parte, la varietà di eventi di dissesto idrogeologico che vi si possono verificare, congiuntamente alla complessità intrinseca degli ambienti carsici, rende particolarmente difficile perseguirne una effettiva protezione. Risulta pertanto prioritario, da un lato, accrescere le conoscenze scientifiche su tali ambienti (anche con l'apporto delle esplorazioni speleologiche, che forniscono insostituibili dati diretti), e, dall'altra, promuovere politiche ed azioni volte alla creazione di una coscienza ambientale e della consapevolezza della vulnerabilità degli ambienti carsici, soprattutto mediante il diretto coinvolgimento delle popolazioni che su tali territori vivono ed operano. Solo in questa maniera si potrà pervenire ad una reale mitigazione dei rischi derivanti da eventi di dissesto idrogeologico, siano essi naturali o causati dall'uomo (PARISE, 2010b).

BIBLIOGRAFIA

- ANDRIANI G.F., WALSH N. (2007), *Rocky coast geomorphology and erosional processes: a case study along the Murgia coastline south of Bari, Apulia – SE Italy*. *Geomorphology*, **87** (3), 224-238.
- BABOČI K., PALMENTOLA G., SANSÒ P. (1991), *Primi risultati dello studio quantitativo delle forme carsiche epigee dei dintorni di S. Marco in Lamis (Fg)*. *Itinerari Speleol.*, **5**, 87-95.
- BARNABA F., CAGGIANO T., CASTORANI A., DELLE ROSE M., DI SANTO A.R., DRAGONE V., FIORE A., LIMONI P.P., PARISE M., SANTALIOIA F. (2010), *Sprofondamenti connessi a cavità antropiche nella regione Puglia*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 653-672.
- BISSANTI A.A. (1972), *L'alluvione del luglio 1972 a Manfredonia*. Mem. Ist. Geogr. Fac. Econ. Comm., Univ. Bari, **5**, 73 pp.
- BRUNO E., CALCATERRA D., PARISE M. (2008), *Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment*. *Eng. Geology*, **99**, 198-209.
- CANORA F., FIDELIBUS M.D., SCIORTINO A., SPILOTRO G. (2008), *Variation of infiltration rate through karstic surfaces due to land use change. A case study in Murgia (SE-Italy)*. *Engineering Geology*, **99**, 210-227.
- CARROZZO M.T., DELLE ROSE M., DE MARCO M., FEDERICO A., FORTE F., MARGIOTTA S., NEGRI S., PENNETTA L., SIMEONE V. (2003), *Pericolosità ambientale di allagamento nel Salento leccese*. *Quaderni di Geologia Applicata*, **2** (1), 77-85.
- CASTIGLIONI B., SAURO U. (2000), *Large collapse dolines in Puglia (southern Italy): the cases of "Dolina Pozzatina" in the Gargano plateau and of "puli" in the Murge*. *Acta Carsologica*, **29** (2), 83-93.
- CE.RI.CA. (CENTRO RICERCHE CASTELLANESE) (1996), *Le inondazioni a Castellana*. Amministr. Comunale di Castellana-Grotte, 79 pp.
- DELLE ROSE M., PARISE M. (2002), *Karst subsidence in south-central Apulia, Italy*. *International Journal of Speleology*, **31** (1/4), 181-199.
- DELLE ROSE M., PARISE M. (2010), *Water management in the karst of Apulia, southern Italy*. In: BONACCI O. (Ed.), *Proc. Int. Conf. "Sustainability of the karst environment. Dinaric karst and other karst regions"*, Plitvice Lakes (Croatia), 23-26 September 2009, IHP-UNESCO, Series on Groundwater, **2**, 33-40.
- DELLE ROSE M., PARISE M., ANDRIANI G.F. (2007), *Evaluating the impact of quarrying on karst aquifers of Salento (southern Italy)*. In: PARISE M., GUNN J. (Eds.), *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society, London, Special Publication **279**, 153-171.
- DEL PRETE S., IOVINE G., PARISE M., SANTO A. (2010), *Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy*. *Geodinam. Acta*, **23**, 113-127.
- FESTA V., FIORE A., PARISE M., QUARTA G. (2010), *Il sinkhole di Masseria Forte di Morello (prov. Lecce, Puglia)*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 509-524.
- FORMICOLA W., GUEGUEN E., MARTIMUCCI V., PARISE M., RAGONE G. (2010), *Caves below quarries and quarries above caves: problems, hazard and research. A case study from southern Italy*. *Geological Society of America Abstracts with Program*, **42** (5).
- IOVINE G., PARISE M., TROCINO A. (2010), *Breakdown mechanisms in gypsum caves of southern Italy, and the related effects at the surface*. *Zeitsch. für Geom.*, **54**, 153-178.
- LOLLINO P., PARISE M., REINA A. (2004), *Numerical analysis of the behavior of a karst cavern at Castellana-Grotte, Italy*. Atti 1st Int. UDEC/3DEC Symposium, Bochum (Germany), 29 September – 1 October 2004, 49-55.
- MARGIOTTA B., PALMENTOLA G., PATELLA D. (1979), *Lo smaltimento delle acque di ristagno superficiale nel Salento. Studio e ipotesi di intervento nella zona campione di Presicce (Lecce)*. *Quad. Ric. Centro Studi Geotecnici, Lecce*, **1**, 1-13.
- NORTH L.A., VAN BEYNE P.E., PARISE M. (2009), *Inter-regional comparison of karst disturbance: West-central Florida and southeast Italy*. *J. Environ. Management*, **90** (5), 1770-1781.
- OROFINO F. (1990), *Castellana-Grotte: le vicende storiche di Largo Porta Grande*. *Itinerari Speleologici*, **4**, 39-46.
- PARISE M. (1999), *Morfologia carsica epigea nel territorio di Castellana-Grotte*. *Itinerari Speleologici*, **8**, 53-68.
- PARISE M. (2003), *Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy)*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **3** (6), 593-604.
- PARISE M. (2007), *Pericolosità geomorfologica in ambiente carsico: le gravine dell'arco ionico tarantino*. *Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan"*, **41**, 81-93.
- PARISE M. (2008a), *Rock failures in karst*. In: CHENG Z., ZHANG J., LI Z., WU F., HO K. (a cura di), *Landslides and Engineered Slopes*. Atti 10th Int. Symp. on Landslides, Xi'an (China), June 30 – July 4, 2008, **1**, 275-280.
- PARISE M. (2008b), *I sinkholes in Puglia*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia*, **85**, 309-334.
- PARISE M. (2009), *Trasformazioni di uso del suolo nel paesaggio carsico della Puglia (Italia sud-orientale): gli effetti negativi dello spietramento*. *Studium Albanologjike*, **4**, 458-468.
- PARISE M. (2010a), *The impacts of quarrying in the Apulian karst*. In: CARRASCO F., LA MOREAUX J.W., DURAN VALSERO J.J., ANDREO B. (eds.), *Advances in research in karst media*. Springer, 441-447.
- PARISE M. (2010b), *Hazards in karst*. In: BONACCI O. (Ed.), *Proc. Int. Conf. "Sustainability of the karst environment. Dinaric karst and other karst regions"*, Plitvice Lakes (Croatia), 23-26 September 2009, IHP-UNESCO, Series on Groundwater, **2**, 155-162.
- PARISE M. (2011), *Sinkholes caused by underground quarries in Apulia, southern Italy*. 12th Multi-disc. Conf. on Sinkholes and the Eng. and Environ. Impacts of Karst, Saint Louis (Missouri, USA), January 10-14, 2011, Program with Abstracts, 23.
- PARISE M., FLOREA L.J. (2008), *I sinkholes nella letteratura scientifica internazionale: una breve rassegna, con particolare riferimento agli Stati Uniti d'America*. *Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia*, **85**, 427-450.
- PARISE M., FIORE A. (2011), *Chronology of sinkhole events in Apulia, Italy*. *Geophysical Research Abstracts*, **13**, 3225.
- PARISE M., PASCALI V. (2003), *Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy)*. *Environmental Geology*, **44**, 247-256.
- PARISE M., VALDES SUAREZ M.V., POTENZA R., DEL VECCHIO U., MARIANGELLA A., MAURANO F., TORREZ MIRABAL L.D. (2005), *Geological and morphological observations in the eastern part of the Gran Caverna de Santo Tomàs, Cuba (results of the "Santo Tomàs 2003" speleological expedition)*. *Cave and Karst Science*, **32** (1), 19-24.
- SAURO U. (2003), *Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification*. *Acta Carsologica*, **32** (2), 41-52.
- SSI-CAI (SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA – CLUB ALPINO ITALIANO) (1989), *Problemi di inquinamento e salvaguardia delle aree carsiche*. Nuova Editrice Apulia, 139 pp.
- WALTHAM T., BELL F., CULSHAW M. (2005), *Sinkholes and subsidence*. Springer, Praxis Publishing, 382 pp.
- WHITE W.B. (1988), *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford Univ. Press, 464 pp.
- WHITE E., WHITE W. (1969), *Processes of cavern breakdown*. *Bull. Natl. Speleol. Soc.*, **31** (4), 83-96.
- WILLIAMS P.W. (2008), *The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review*. *International Journal of Speleology*, **37** (1), 1-10.

Indagine geofisica su movimento franoso lungo una strada comunale

GABRIELE PALUMMO
Geologo, libero professionista

MONICA RONTINI
Collaboratore tecnico

1. PREMESSA

È stata eseguita una indagine geofisica su un movimento franoso ubicato lungo la strada comunale per Podenzana in località Crocetta nel Comune di Bolzano (SP), verificatosi in seguito alle intense precipitazioni piovose e nevose avvenute nel dicembre 2009.

Gli smottamenti, verificatosi a monte della strada comunale per Podenzana, hanno riversato sulla carreggiata notevoli quantità di materiale terrigeno, oltre che ciottoli, blocchi rocciosi e alcuni massi, comportando la conseguente transennatura della strada e l'ordinanza di interdizione alla viabilità.

Un primo sopralluogo d'urgenza ha evidenziato il reale pericolo derivato dal terreno franato in più tratti, l'effettiva conseguente necessità di transennare l'area a monte e a valle e di istituire il divieto di circolazione, anche in considerazione della possibilità di un ampliamento del dissesto, soprattutto per il probabile perdurare di situazioni meteorologiche avverse (vedi Foto 1).

2.0. METODOLOGIA SEGUITA PER L'INDAGINE

Al fine di esaminare le caratteristiche geometriche del movimento franoso, lo studio geofisico si è articolato attraverso le seguenti fasi di indagine e verifica:

- ricerca bibliografica dei dati di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico relativi all'area di intervento;
- rilevamento geolitologico, formazionale e strutturale di superficie su un congruo areale su base cartografica a grande scala (1:5.000);
- rilievo plano-altimetrico speditivo e di dettaglio del corpo di frana;
- esecuzione di n. 3 stendimenti di sismica a rifrazione;
- esecuzione di n. 1 stendimento di sismica MASW;
- esecuzione di n. 2 stendimenti di tomografia geoelettrica ERT;
- esecuzione di n. 2 sondaggi a rotazione a carotaggio continuo;
- elaborazione dei dati e considerazioni conclusive.



Foto 1

Tale articolazione è stata finalizzata alla valutazione delle cause che hanno portato al dissesto e dell'intervento più appropriato da adottare per ricostituire il versante e la

massicciata stradale franata, mediante la realizzazione di adeguate opere di sostegno, in rapporto alle caratteristiche litostratigrafiche e fisico-meccaniche dei terreni.



Tavola 1

3.0. CARATTERISTICHE DELLA ZONA DI INDAGINE

3.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area studiata si colloca geograficamente lungo la strada comunale per Podenzana a quote comprese tra circa 420.0 e 460.0 m s.l.m.m. (vedi TAV. 1 – Inquadramento geografico).

3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal rilevamento geologico effettuato sul terreno su un congruo areale e dall'esame della cartografia geologica, si constata che la zona di indagine è caratterizzata da litologie composte principalmente da arenarie con intercalazioni siltitico-argillose.

Queste rocce appartengono alla Formazione del Macigno (MAC) Falda Toscana – Dominio Toscano) costituite da arenarie torbiditiche da fini a grossolane in strati e banchi alternate a sottili livelli di siltiti argillose grigie (Oligocene superiore) ed in particolare siamo in presenza della Litofacies delle Arenarie Zonate (MAC_a) caratterizzata da arenarie torbiditiche fini e siltiti grigie scure in strati di 5-20 centimetri (vedi TAV. 2 – Inquadramento geologico).

La formazione rocciosa localmente è rappresentata da arenarie a grana fine e siltiti grigie, mal stratificate e frattura galestrina, aciculari con subordinati sottili livelli di argilla siltosa (vedi Foto 2).

Anche se molto limitati, gli affioramenti presenti permettono di ricostruire in dettaglio l'assetto strutturale degli strati, che mostrano una giacitura a traverspoggio.

La tettonica che ha interessato le strutture a serie toscana è caratterizzata da motivi plicativi molto serrati che si manifestano con esempi strutturali di pieghe anticlinali con asse longitudinale diretto NNO-SSE.

Le frequenti intersezioni tra il clivaggio e la stratificazione condizionano la compagine d'insieme della roccia sino alla frammentazione della stessa in blocchi di dimensioni medio-piccole fino alla brecciatura con clasti di piccole dimensioni.

3.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico l'area in oggetto è situata su di un versante con pendenza di circa 50° a poca distanza dallo spartiacque morfologico locale (displuvio) posto a Nord-Ovest e dalla sottostante incisione valliva (impluvio) a Est (vedi TAV. 3 – Inquadramento geomorfologico).

La morfologia della zona è legata strettamente alla natura litologica dei terreni affioranti con idrografia principale incassata in valli molto profonde.

3.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Mentre le linee di deflusso principale incidono soprattutto le rocce impermeabili, i corsi d'acqua minori e i loro affluenti prendono origine dalle masse litologiche scarsamente permeabili, come quelle presenti nella zona indagata, per cui l'impermeabilità o quasi del substrato priva i corsi superiori dei torrenti dell'azione regolatrice da parte delle masse d'acqua sotterranee, inoltre la notevole pendenza dei versanti contribuisce negativamente al già scarso assorbimento delle rocce affioranti.

Le caratteristiche idrogeologiche, condizionate dall'assetto geologico, geomorfologico e strutturale dell'area, si possono riassumere secondo le seguenti considerazioni:

- le coltri detritiche naturali a copertura del substrato arenaceo (costituite principalmente da sabbie limose e ghiaie sabbiose di origine eluvio-colluviale) presentano una permeabilità da media ad alta per porosità primaria interstiziale (il grado di permeabilità comunque diminuisce all'aumentare della presenza e della frequenza delle granulometrie più fini e all'aumentare del grado di cementazione); queste litologie hanno scarsa importanza in quanto influiscono solo localmente sullo sviluppo idrogeologico e quindi sul deflusso superficiale della zona in quanto di limitato spessore;
- il substrato roccioso (arenarie e siltiti) presenta una permeabilità da scarsa (nei

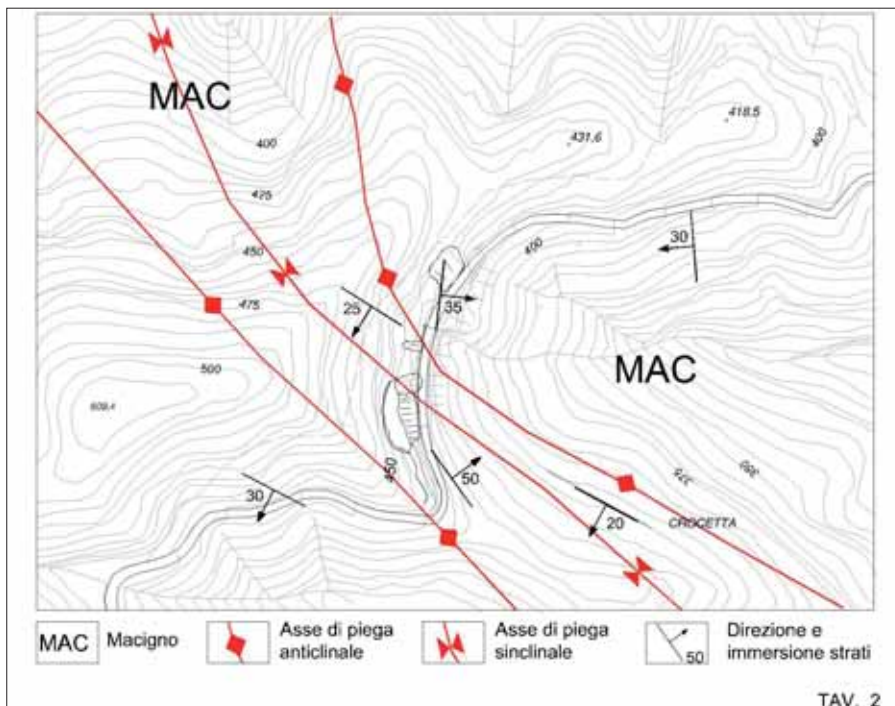


Tavola 2



Foto 2



Foto 3

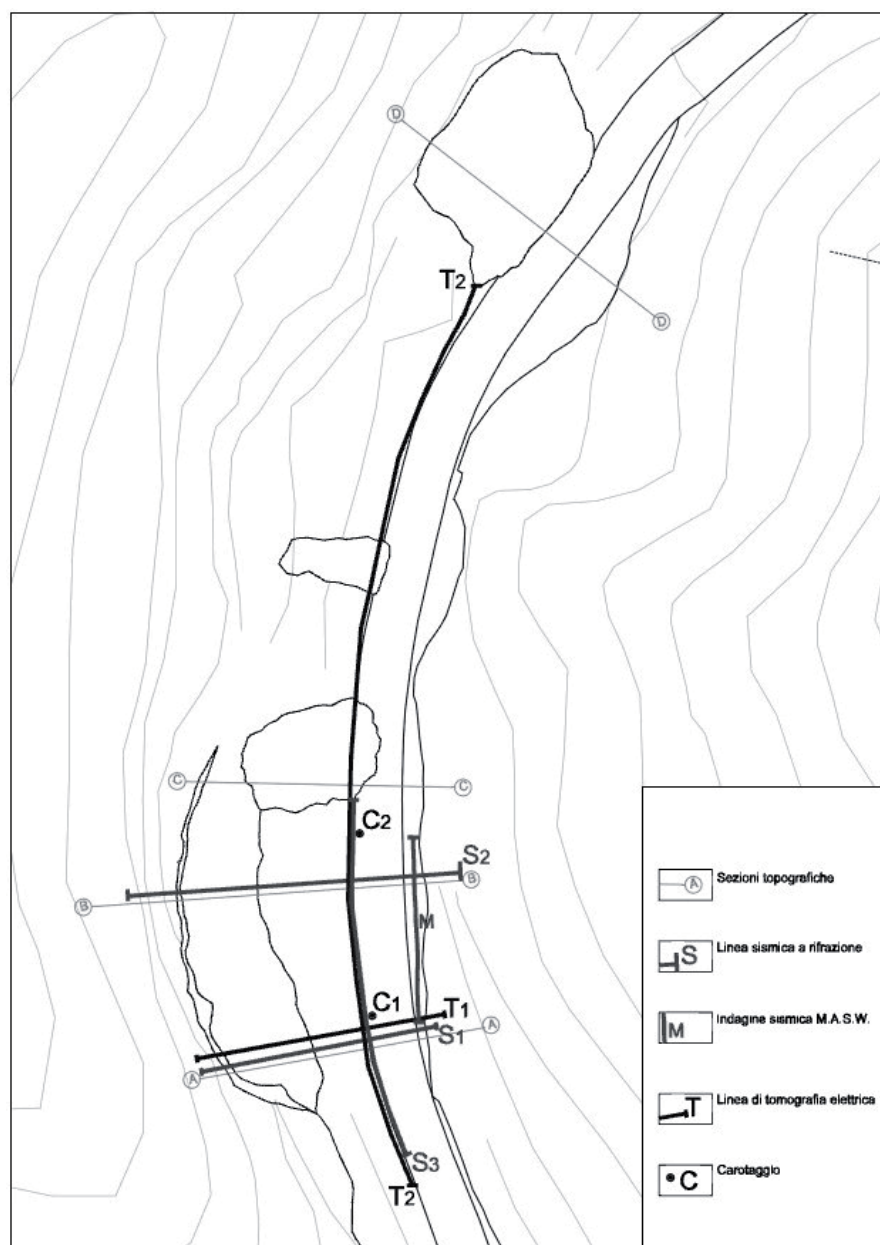


Tavola 4

primi decimetri per fessurazione e fratturazione secondaria) a nulla; la formazione litologica che dovrebbe comportarsi come roccia impermeabile presenta tuttavia una funzione aspirante per opera di un certo grado di permeabilità, di porosità interstiziale e di fessurazione.

In definitiva, si può ipotizzare nell'area un modello idrogeologico costituito da coltri detritiche naturali, permeabili per porosità, che ospitano falde idriche regolate dalle condizioni meteo-climatiche, quindi temporanee e spesso assenti, le quali poggiano su un substrato di arenarie e siltiti molto fratturato da poco a nulla permeabile, che funziona da letto di scorrimento sub-superficiale per le acque meteoriche, impedendo infiltrazioni profonde.

3.5. INQUADRAMENTO DEL DISSESTO

Il fenomeno gravitativo che ha interessato la parte a monte della strada comunale per Podenzana è riconducibile ad una serie di frane superficiali di masse detritiche, dove i clasti arenacei risultano frammisti ad una più abbondante matrice sabbioso-limoso derivante dall'alterazione degli strati arenaceo-siltitici, e ad una frana di crollo in roccia, da riferirsi principalmente all'intensa azione delle acque meteoriche e delle precipitazioni nevose.

La massa franata comprende materiali quali sabbie, limi, blocchi di arenaria alterata e spesso arenizzata ed anche un masso, che si sono mobilizzati al di sopra della formazione delle arenarie e all'interno della coltre superficiale; le rocce si presentano fratturate e brecciate con abbondante matrice sabbioso-limoso, o talvolta con orizzonti completamente arenacei molto fratturati (vedi Foto 3).

4.0. CARATTERISTICHE DEI MOVIMENTI FRANOSI

Dal rilevamento di campagna è emerso che la serie di frane che ha interessato il tratto di strada comunale si sviluppa complessivamente per una lunghezza massima di circa 115 m e raggiunge una larghezza massima di circa 30 m in una fascia altimetrica compresa tra 415 e 435 m s.l.m.m. di quota.

Procedendo sulla strada comunale in direzione Podenzana il primo corpo di frana si presenta dapprima con una lunga frattura di trazione di forma arcuata posta a quota variabile da 435 m a circa 430 m, espressione dello stato tensionale del terreno in corrispondenza della zona di distacco.

La frattura si presenta come una lacerazione avente una lunghezza di circa 50 m, un'apertura variabile da 0.5 m a 1.7 m; il bordo verso valle risulta ribassato di 1.5 m con profondità massima di 2.6 m.

Questa situazione morfologica si spiega mediante una componente di movimento



Foto 4

prevalentemente rototraslativo che ha caratterizzato l'area di testata.

Verso la parte terminale troviamo il vero e proprio corpo di frana (frana 1) riversato sul manto stradale che potrebbe essere avvenuto in sequenza temporale o anche simultaneamente alla formazione della frattura di trazione (vedi TAV. 4 – Planimetria e ubicazione prove).

Nella parte inferiore del versante in frana a testimonianza della compressione del materiale spostato, sono presenti rigonfiamenti del manto stradale.

L'evoluzione degli elementi morfologici sulle strutture antropiche (rigonfiamenti sull'asfalto nella parte di strada a monte) integrata da osservazioni sulla presenza di acqua circolante derivate dalle indagini effettuate fanno ritenere che il fenomeno sia ancora attivo; l'eventuale arretramento delle fratture di trazione può indicare una propagazione del fenomeno in senso retrogressivo, cioè con migrazione della superficie di rottura

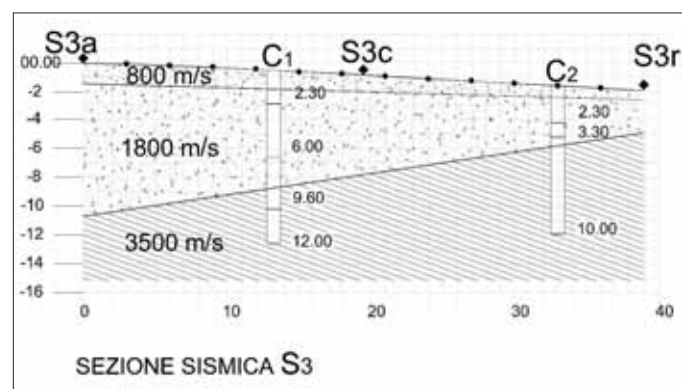
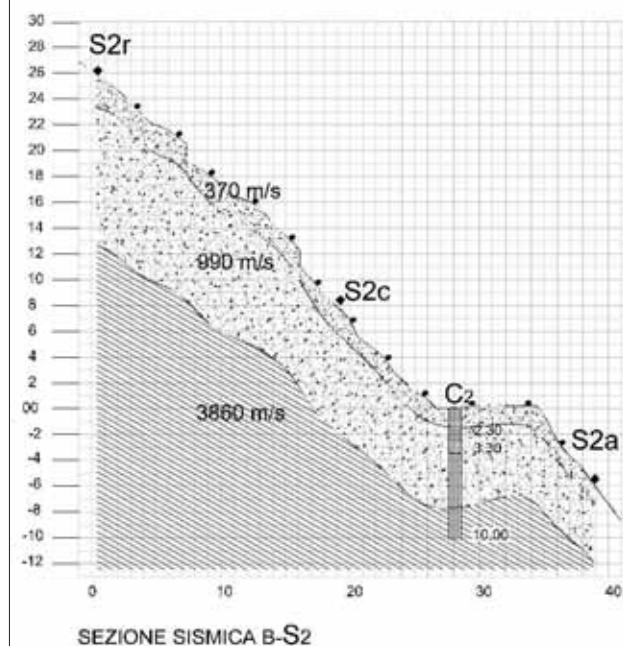
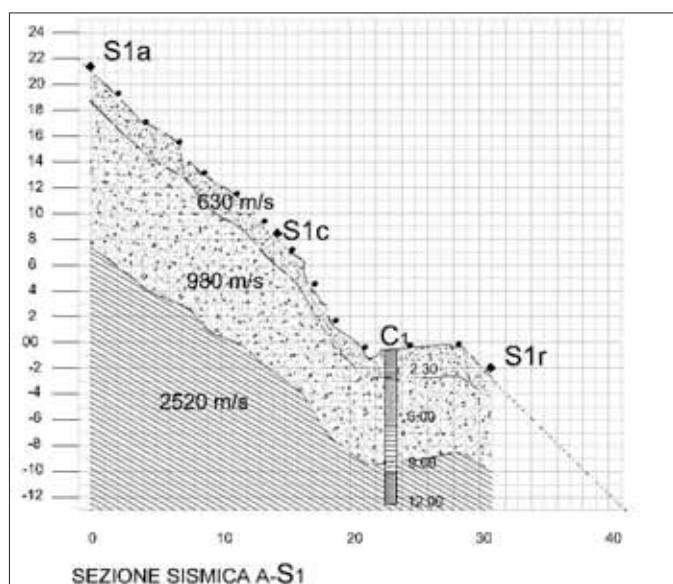


Tavola 5b

in senso opposto rispetto a quello del movimento.

Proseguendo sulla strada dopo circa 15 m si è verificato un movimento prevalentemente di crollo (frana 2) che ha dato luogo ad un deposito sul manto stradale al piede della scarpata di degradazione di un blocco arenaceo di circa 1 mc.

Infine, dopo circa 30 m in un tratto di versante a maggiore acclività un movimento composito (frana 3), cioè il risultato di una parte di scivolamento rototraslazionale e una parte per crollo, di dimensioni di circa 20 m di larghezza e 18 m di altezza, ha riversato sulla sede stradale una notevole quantità di materiale eterogeneo formato da coltre detritica, ciottoli e blocchi di varia pezzatura (vedi Foto 4).

Nelle vicinanze sono stati osservati alcuni alberi in vita ricurvi alla base testimonianza di uno stress meccanico subito dalle piante a livello delle radici coinvolte nel movimento del substrato.

5.0. PROGRAMMA INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la determinazione delle caratteristiche principali dei terreni interessati dalla zona in dissesto (situazione litostratigrafica,

Tavola 5a

geometria e distribuzione areale della frana, parametrizzazione fisico-meccanica) è stata programmata un'indagine geognostica che ha compreso (vedi TAV. 4 – Planimetria e ubicazione prove):

- n. 3 stendimenti di sismica a rifrazione onde Vp;
- n. 2 stendimenti di tomografia geoelettrica ERT;
- n. 1 stendimento di sismica MASW;
- n. 2 carotaggi a rotazione continua spinti a 10.0 m e a 12.0 m.

5.1. PROSPEZIONI GEOFISICHE

Una volta noti i caratteri geologico-strutturali e geomorfologici dell'area di studio, acquisiti con i rilievi di superficie, si è proceduto all'esecuzione di indagini geofisiche, volte a definire lo spessore dell'accumulo di frana e all'individuare una o più superfici di scivolamento.

5.1.1. Sismica a rifrazione

Per investigare il sottosuolo, dove si prevedevano orizzonti a velocità di propagazione delle onde sismiche crescenti con la profondità (copertura-substrato) e dove la profondità d'indagine prevista era di alcune decine di metri, è stata utilizzata la metodologia della sismica a rifrazione con onde Vp con sismografo a 12 canali.

L'energizzazione del terreno è stata ottenuta mediante mazza da 10 Kg con starter direttamente collegato allo strumento di misura.

L'impiego del sismografo a 12 canali, con geofoni ubicati a distanze costanti e crescenti dai punti di energizzazione, permette di ricevere e registrare le onde elastiche propagatesi in strati del terreno sempre più profondi, a condizione che i moduli di elasticità e quindi le velocità aumentino con l'aumentare della profondità.

L'elaborazione dei tempi di arrivo delle onde longitudinali P consente di calcolare le velocità di propagazione e le profondità alle quali avvengono le variazioni di tali velocità che corrispondono a cambiamenti litologici.

Per le linee sismiche sono stati predisposti n. 3 punti di energizzazione (n. 1 per la battuta di andata A, n. 1 per la battuta centrale C e n. 1 per la battuta di ritorno R) posizionati a distanza pari all'equidistanza dal primo e dall'ultimo geofono per i punti A ed R e a metà dell'equidistanza per il punto C.

Dalla elaborazione dei tempi di arrivo e dalla interpretazione delle dromocrone utilizzando il metodo reciproco generalizzato GRM di Palmer sono stati individuati i layers le cui interfacce sono poste a profondità variabili dal p.c. (vedi TAVV. 5a e 5b – Sezioni sismiche interpretative).

In TAB. 1 vengono sintetizzati i risultati dell'indagine geofisica che ha compreso n. 3

Tabella 1

Layer	Prof. (m)	Vp (m/sec)	Litologia corrispondente
n. 1	2.00-2.30	370-630	Coltre detritica
n. 2	6.00-6.60	980-990	Argille, sabbie e ghiaie
n. 3	>6.60	2520-3860	Substrato roccioso

profili sismici per complessivi 150 m di lunghezza con una profondità di circa 20 m dai quali sono stati individuati n. 3 orizzonti sismici con differenti velocità di propagazione delle onde prime Vp.

Sulle sezioni sismiche sono state costruite le corrispondenti sezioni geologiche, le quali assieme ai logs dei sondaggi meccanici hanno permesso di ricostruire l'andamento del substrato e di attribuire quindi i vari strati a corpi geologici definiti.

Partendo dall'alto verso il basso possono essere fatte le seguenti caratterizzazioni:

- il primo strato (velocità di 370-630 m/sec) corrisponde ad un terreno detritico di copertura con spessore che non supera i 2.5 m;
- il secondo strato (velocità di 980-990 m/sec) corrisponde ad un terreno di accumulo di frana con spessore massimo di circa 7 m;
- il terzo strato (velocità di 2520-3860 m/sec) corrisponde ad un corpo geologico compatto e con discrete caratteristiche meccaniche (substrato) anche se presenta livelli con maggior grado di fratturazione come messo in evidenza anche dai dati stratigrafici scaturiti dai sondaggi meccanici.

In conclusione, dai dati di superficie e dai dati di sottosuolo è stato possibile ricostruire un modello che prevede superficialmente la presenza di un movimento franoso di tipo scorrimento, in posizione intermedia una probabile deformazione assimilabile ad una frana in roccia e più in profondità un substrato roccioso non affetto da deformazioni recenti.

5.1.2. Tomografia geoelettrica

E' stata eseguita una prospezione geoelettrica con misure multielettrodo di resistività al fine di determinare le caratteristiche elettriche dei litotipi presenti nell'area di frana e, conseguentemente, individuare presunte circolazioni d'acqua e la superficie di contatto tra i materiali detritici sciolti e il substrato roccioso.

Tabella 2

Litotipo	ρ (Ω m)	f (%)
Acqua	10-100	-
Suolo di copertura	10-200	60-90
Detrito alluvionale	50-1000	15-60
Sabbie e ghiaie	70-700	30-60
Arenarie	200-5000	7-30
Argille	1-50	40-70

5.1.2.1. I metodi geoelettrici

I metodi geoelettrici consistono nella determinazione sperimentale dei valori di resistività elettrica che caratterizzano il sottosuolo.

Mediante l'utilizzo di appropriate strumentazioni si immette corrente elettrica nel terreno e si esegue una successione di misure in superficie con una serie di elettrodi opportunamente posizionati e infissi nel terreno.

I dati dei rilievi geoelettrici sono usualmente presentati in forma di valori di resistività apparente: questa è definita come la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti gli stessi rapporti misurati tra la corrente applicata e la differenza di potenziale per una data disposizione e spaziatura degli elettrodi.

Il rilevamento geoelettrico consiste nell'uso dei valori di resistività apparente derivati da misure di campo in vari punti e con diverse configurazioni per stimare la vera resistività dei diversi strati e ricostruire spazialmente i loro limiti al di sotto della superficie topografica.

5.1.2.2. PROPRIETÀ ELETTRICHE DELLE ROCCE E DEI TERRENI

La maggior parte delle rocce presenta caratteri di conducibilità di tipo elettrolitico dato che, con le eccezioni di alcuni minerali metallici, quasi tutti i minerali sono isolanti.

La conducibilità è dovuta quindi essenzialmente all'acqua interstiziale ed è in larga misura funzione della porosità, del contenuto d'acqua e della quantità di sali disciolti nell'acqua.

La presenza di fluidi nel sottosuolo fa sì che rocce e terreni, attraversati dalla corrente, si comportino relativamente come dei buoni conduttori di elettricità; al contrario le strutture con scarso contenuto di fluidi come rocce asciutte non fratturate e cavità naturali o di natura antropica si comportano come dei cattivi conduttori, se non addirittura come degli isolanti.

Pertanto le geometrie sepolte rispondono al flusso di corrente artificiale, immessa con diverse modalità, in funzione del parametro fisico che regola tale comportamento: la resistività elettrica ρ (Ohm-m).

La resistività è pertanto una proprietà assai variabile, anche all'interno della stessa formazione: ciò è particolarmente vero per i materiali poco consolidati prossimi alla superficie, come detriti e regolite.

In TAB. 2 sono forniti alcuni valori indicativi della resistività (ρ) di rocce e sedimenti associati a quelli di porosità (ϕ).

5.1.2.3. Indagini effettuate

Sono state eseguite n. 2 prospezioni geoelettriche con misure multielettrodo di resistività, al fine di determinare le caratteristiche elettriche dei litotipi presenti nell'area di frana.

In particolare, l'indagine geoelettrica è stata effettuata con una acquisizione multielettrodo in configurazione Wenner-Schlumberger per un totale di 112 misure.

La fase di acquisizione è stata preceduta dalla verifica dell'assenza di resistenze di contatto, ovvero quel valore di resistenza proprio non del mezzo da investigare ma dell'interferenza elettrica data da uno scadente contatto elettrodo-terreno.

Per l'indagine sono stati utilizzati 24 elettrodi in acciaio inox con spaziature di 2.0 e 5.0 m per un totale di 160.0 m di stendimento multielettrodo lungo la strada comunale e da monte verso valle.

La lunghezza di tali stendimenti è stata sufficiente a determinare l'elettrostratigrafia del terreno fino alla profondità di circa 20 m dal p.c.

L'indagine è stata effettuata con georesistivometro acquisitore digitale modulare per prospezione geoelettrica multielettrodo.

Il georesistivometro è dotato di un sistema di gestione automatica degli elettrodi, in grado cioè di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare in elettrodi di immissione di corrente (punti di energizzazione del terreno) e in elettrodi di misura del potenziale elettrico con tutte le possibili combinazioni quadripolari (in questo caso tutte le combinazioni quadripolari di Wenner e di Schlumberger per un totale di 112 misure).

I dati ottenuti in fase di acquisizione hanno consentito la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione, mediante complessi algoritmi matematici, ha restituito la definizione della distribuzione di resistività elettrica del mezzo investigato.

5.1.2.4. Interpretazione dei dati

Nelle TAVV. 6a e 6b si riportano le sezioni tomografiche 2D di resistività elettrica ottenute dall'indagine geoelettrica eseguita le cui scale colorimetriche permettono di cogliere le variazioni di resistività (i valori minimi sono associati ai toni blu, mentre le zone ad elevata resistività sono colorate con toni rossi).

Come si può osservare dalle sezioni bidimensionali elettro-tomografiche, si ritrovano valori medio-bassi di resistività in superficie fino a profondità variabili.

Si rilevano anomalie di bassa resistività (2-100 Ohmxm) di colore blu che rappresentano lenti di materiale saturo a contenuto d'acqua maggiore delle zone circostanti, materiali sabbioso-limosi (toni verdi) di media resistività (100-300 Ohmxm) e materiali assimilabili al substrato roccioso (toni rossi) di più alta resistività (oltre 300 Ohmxm).

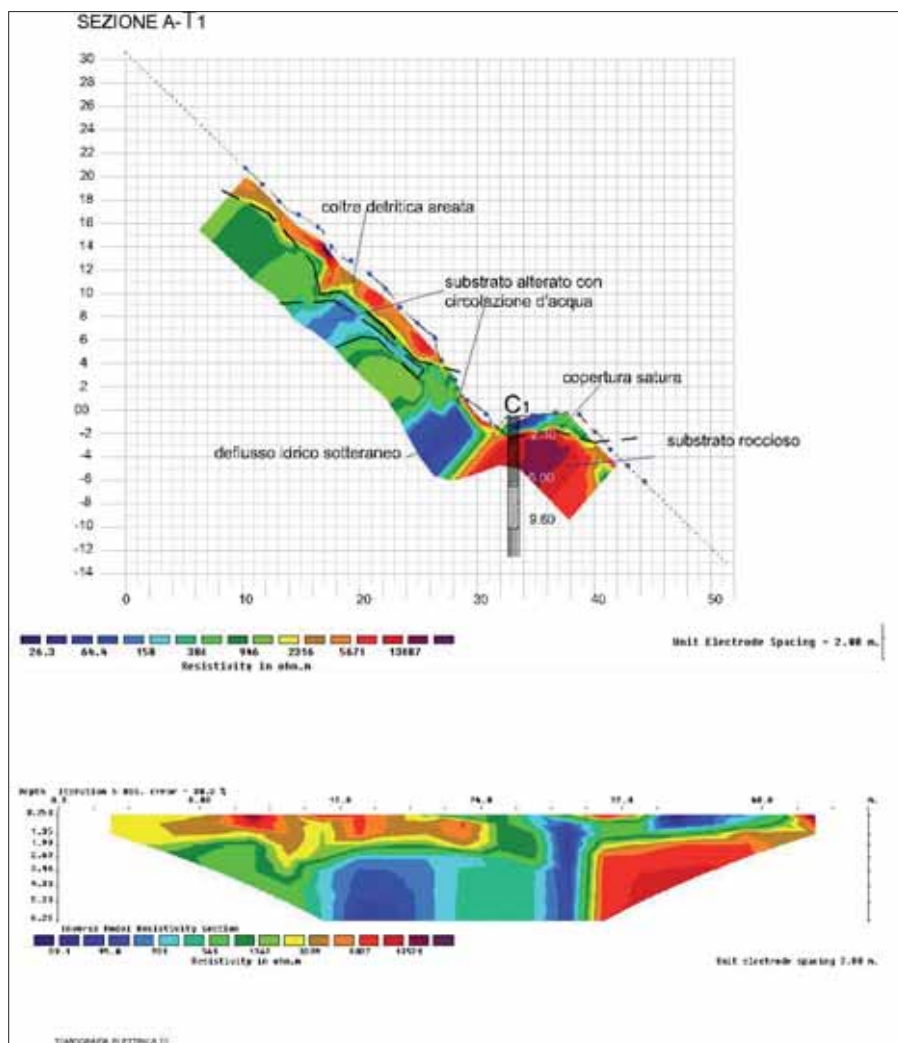


Tavola 6a

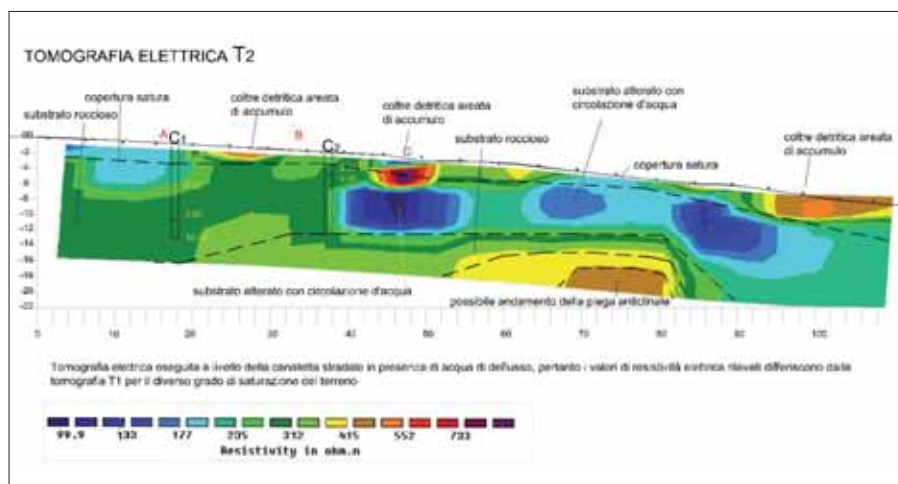


Tavola 6b

I valori di più bassa resistività elettrica sono direttamente collegati con infiltrazioni di acqua la cui circolazione idrica preferenziale risulta avere una componente ortogonale alla sezione (da monte a valle).

5.2. SONDAGGI MECCANICI

Al termine della campagna geofisica sono stati effettuati n. 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo ubicati lungo la strada comunale alla base del corpo di frana principale.

In entrambi i sondaggi sono state eseguite anche prove SPT (Standard Penetration Test) nei livelli incoerenti più superficiali per ricavare parametri geotecnici utili sia nelle verifiche di stabilità del pendio sia nel dimensionamento e nella progettazione delle opere di bonifica del pendio stesso.

In TAB. 3 vengono interpretati i dati litologici dei singoli sondaggi al fine di ricostruire la stratigrafia e l'assetto strutturale dei vari corpi geologici.

Tabella 3

Sondaggio C1		
Q _s (m)	Q _i (m)	Litologia
0,00	2,30	Clasti eterogenei (arenarie e siltiti) ed eterometrici in una matrice sabbioso-limoso; argilla limoso-sabbiosa con clasti minuti
2,30	6,00	Arenaria marrone molto fratturata e molto alterata con intercalazioni di argilliti
6,00	9,60	Arenaria marrone zonata poco fratturata e molto alterata
9,60	12,00	Siltiti argillose grigie poco fratturate; sono presenti fratture riempite da calcite
Sondaggio C2		
Q _s (m)	Q _i (m)	Litologia
0,00	2,30	Clasti eterogenei (arenarie e siltiti) ed eterometrici in una matrice sabbioso-limoso; argilla limoso-sabbiosa con clasti minuti
2,30	3,30	Arenaria marrone zonata poco fratturata e molto alterata
3,30	10,00	Siltiti argillose grigie poco fratturate; sono presenti fratture riempite da calcite

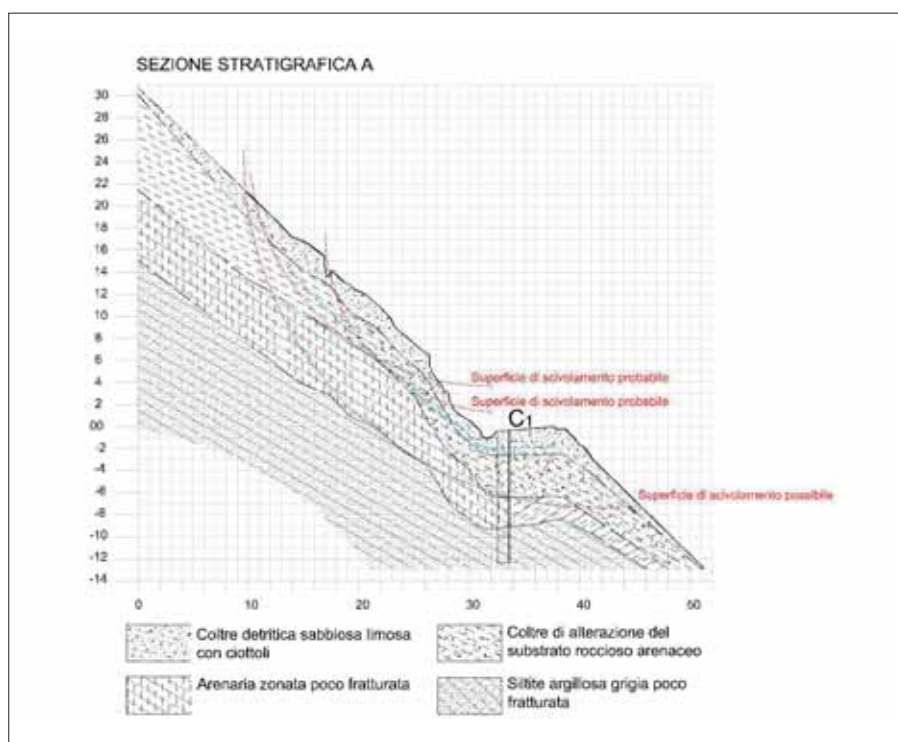


Tavola 7a

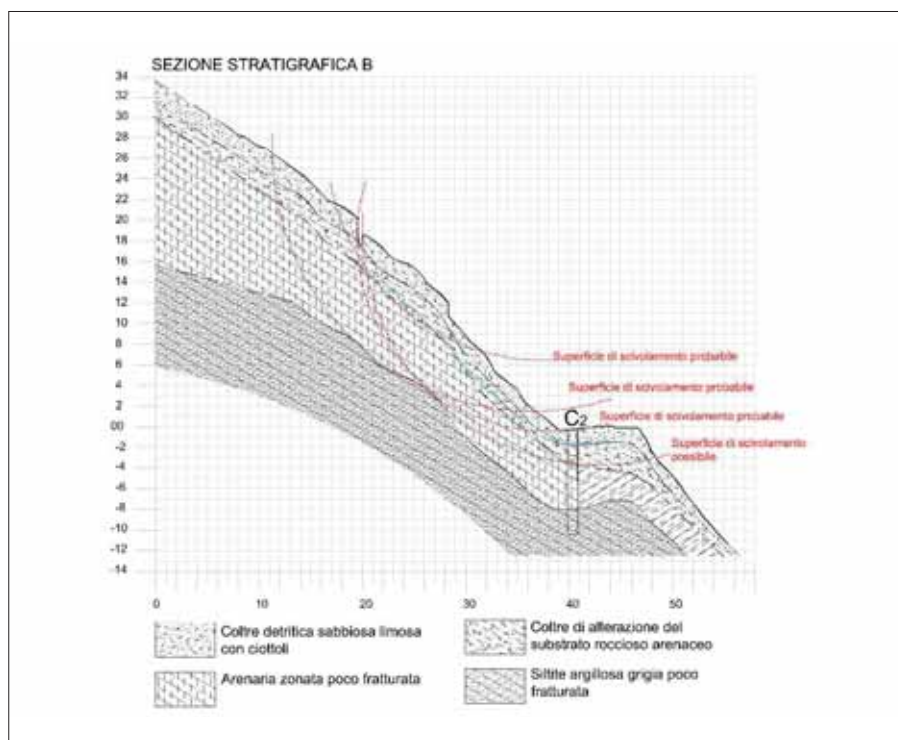


Tavola 7b

Nei due fori di sondaggio è stato verificato con freatimetro il livello della falda idrica sotterranea che si è attestato a circa 1,50 m dal p.c..

6.0. - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

6.1. - CAUSE DEL DISSESTO

Sulla base dei risultati delle indagini svolte sono state individuate le superfici di scorrimento delle frane lungo le quali si sono verificati i movimenti di scorrimento e di crollo (vedi TAVV. 7a e 7b).

Al di sotto di queste superfici di scorrimento è stato individuato un livello roccioso intermedio a circa 2-3 m di profondità con caratteristiche geomeccaniche inferiori a quelle del substrato roccioso vero e proprio messo in evidenza dalle prove geoelettriche intorno ai -6 m.

I fattori predisponenti e le cause principali della frana sono connessi alle caratteristiche litologiche dei terreni interessati (copertura detritica argillosa sabbiosa su versante acclive, roccia sedimentaria composta da strati competenti alternati a livelli meno competenti, giacitura a travergoglio) e all'evoluzione strutturale del territorio che ha determinato fasce con fessurazioni e fratturazioni della compagine rocciosa, favorendo l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo e l'istaurarsi di processi alterativi.

Inoltre, ricoprono grande importanza le piogge particolarmente intense e prolungate del periodo antecedente al dissesto che hanno contribuito ad un'ulteriore scadimento delle caratteristiche meccaniche dei terreni coinvolti con riduzione della resistenza al taglio e della coesione, con aumento del peso di volume del materiale detritico e diminuzione dell'attrito a livello del contatto detrito - substrato.

BIBLIOGRAFIA

- BURGER R. H. (1992), *Exploration geophysics of the shallow subsurface*. Prentice Hall.
- CARRARA E., RAPOLLA A., ROBERTI N. (1992), *Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici*. Liguori Editore
- CORRAO M., COCO G. (2009), *Geofisica applicata*. Dario Flaccovio Editore
- FORLI A., GUIDA T. (2009), *Il rischio idrogeologico in Italia*. Sistemi Editoriali
- MILSON J. (2003), *Field geophysics*. Wiley
- REYNOLDS J. M. (1997), *An introduction to applied and environmental geophysics*. Wiley

Differenti scenari di pericolosità da frana: guida all'analisi territoriale ed alla restituzione dei dati

PENNETTA MICLA
Dipartimento di Scienze della Terra, Università
Federico II, Napoli
e-mail: pennetta@unina.it

BAISTROCCHI FEDERICO
Autorità di Bacino Regionale del Fiume Sarno,
Regione Campania, Napoli

ELIO LO RUSSO
c/o Dipartimento di Scienze della Terra, Università
Federico II, Napoli

LEONARDO PACE
Ministero delle Infrastrutture, Napoli

PREMESSA

Vengono illustrate le indagini geognostiche da svolgere su aree caratterizzate da pericolosità per frana ascrivibile a differenti scenari di franosità scelti tra quelli con frequenza di accadimento più frequente. Gli studi da svolgere vanno finalizzati all'individuazione del processo morfoevolutivo e dei suoi effetti (superficie interessata, volumi mobilizzati o mobilizzabili, velocità, ecc.) inserito nel sito con le sue specificità (frane storiche, caratteri pluviometrici ed idrologici, incendi boschivi, interventi antropici significativi per le condizioni di stabilità del versante, etc.).

Gli studi vanno preceduti da una ricostruzione storica dei processi morfoevolutivi verificatisi nell'area, con l'ausilio di carte topografiche multi temporali a scala di dettaglio e di dati bibliografici a carattere regionale e/o di relazioni tecniche eseguite per altri scopi quando correlabili con l'area oggetto di intervento.

FASE CONOSCITIVA DI BASE

Questa fase dovrà comprendere rilievi in sito che devono essere preceduti da indagini fotointerpretative, utili per riconoscere forme e contrasti non individuabili direttamente sul terreno.

Il confronto di aerofotografie eseguite in tempi diversi e con tecniche diverse (diversa orientazione delle strisciate stereoscopiche, differente posizione del punto di ripresa dei singoli fotogrammi, scala differente) consente sia di osservare e confrontare elementi e forme da punti di osservazione differenti sia di verificare l'evoluzione dei fenomeni franosi o di altri processi morfogenetici. All'indagine fotointerpretativa faranno seguito rilievi di tipo geologico, geomorfologico, idrogeologico e strutturale (legenda in G.N.G.F.G., 1993; SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1996, VARNES, 1978; CRUDEN & VARNES, 1996, AMANTI *et al.*, 2001; HUNGR *et al.*, 2001; APAT, 2006). In particolare vanno rilevati:

- la natura, la tessitura, stratificazione ed i rapporti giaciture dei terreni nonché gli aspetti tecnicamente utili sotto il profilo applicativo;
- lo spessore delle coperture, ove possibile;

- gli elementi strutturali significativi quali discontinuità stratigrafiche, sistemi di faglie e fratture, ecc.
 - lo stato fisico dell'ammasso roccioso con descrizione dello stato di alterazione dei complessi litologici affioranti, dello stato di fratturazione con orientazione dei principali sistemi di discontinuità, del grado di apertura delle discontinuità, della natura del riempimento delle stesse;
 - l'idrografia superficiale, individuando il tipo di erosione ed il suo ruolo nell'innescamento del processo gravitativo;
 - il regime delle acque superficiali e sotterranee;
 - l'ubicazione di sorgenti, pozzi, ristagni d'acqua;
 - la tipologia del movimento franoso ed eventuali elementi indicativi della sua storia;
 - gli avvallamenti, trincee o fessure, fratture di trazione, ondulazioni ovvero rigonfiamenti del terreno, fenomeni di erosione concentrata o accelerata, contropendenze significative con eventuali ristagni d'acqua, ecc.;
 - le forme ed i processi distinti per tipologia e stato di attività (cfr. G.N.G.F.G., 1987):
 - processi: attivi (se legati a processi in atto al momento del rilevamento o non in atto, ma ricorrenti);
 - processi quiescenti (forme non attive al momento del rilevamento ma con oggettiva possibilità di riattivazione in quanto ancora in evoluzione nel sistema morfoclimatico in cui ricadono);
 - processi inattivi, precisando gli eventuali interventi e stabilizzazioni naturali o antropici (gradonature, piantumazioni, muri di sostegno, muri a secco, gabbionate, opere di ingegneria naturalistica, ecc.);
 - le eventuali cavità sotterranee che potrebbero sprofondare (forme di genesi antropica; forme carsiche);
 - l'uso del suolo, con le informazioni inerenti i principali usi del suolo (cfr. SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1996).
 - le modificazioni intervenute naturali e/o antropiche dell'uso del suolo
- Tutti i dati rilevati vanno opportunamente cartografati; la scala di rappresentazione

dovrà evidenziare in maniera chiara gli elementi rilevati (es. scala 1:1000; 1:2.000). La cartografia di base, e quella geotematica, dovrà essere estesa a superfici utili per la definizione della pericolosità da frana e quindi dell'ambito geomorfologico significativo che includa le aree di richiamo, verso monte, e quelle di possibile invasione.

Dovranno essere superfici sufficientemente ampie, tali da rappresentare sia il processo di frana nella sua interezza sulla base di criteri morfologici, genetici ed evolutivi e sia i rapporti tra processo franoso ed aree al contorno.

SCENARI DI FRANOSITÀ'

COLATE RAPIDE DI FANGO E DETRITI

A) Indagini e rilievi di campagna

Questo scenario di pericolosità è molto diffuso in Campania per la presenza di coltri piroclastiche, provenienti dai distretti vulcanici campani, che ricoprono i versanti carbonatici; include colate di fango e detriti sia canalizzati (*debris-mud flow* incanalati) che di versante a morfologia planare (*debris-mud flow* areali). Le indagini da svolgere dovranno comprendere:

- accertamento diretto attraverso un rilevamento geologico di affioramenti naturali e/o artificiali e/o di pozzetti esplorativi fino al raggiungimento del substrato roccioso per la definizione degli spessori e per la caratterizzazione stratigrafica di tutti gli accumuli di materiale detritico e residuale potenzialmente coinvolgibili in processi di innescamento e trasporto di flussi detritico-fangosi;
- sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino al substrato roccioso, nel caso di coperture di notevole spessore;
- prospezioni geofisiche in foro di tipo down-hole e/o prospezioni geofisiche di superficie per la definizione dei parametri dinamici e per la individuazione dei diversi orizzonti sismostratigrafici presenti; tali indagini devono essere eseguite nelle aree ove sono previste opere di sistemazione e consolidamento sia profonde che superficiali;
- rilevamento di opere quali briglie, salti, attraversamenti, opere idrauliche e re-

lativi accumuli sedimentari, ostruzioni d'alveo, che possono determinare sia la riduzione dell'officiosità dell'alveo che dar luogo ad instabilità delle sponde.

- rilevamento di opere quali strade, sentieri, piste (realizzate ad es. per la ceduzione dei boschi) che frequentemente (circa il 60%) determinano, unitamente agli incendi boschivi, alterazione dello stabilità dei versanti.

B) Elaborati grafici

- Carta geolitologica e strutturale, in cui andranno rappresentati i terreni del substrato roccioso oltre che la dettagliata morfologia dello stesso, illustrata anche da sezioni geologiche significative; le litologie del substrato andranno accorpate ove dovessero presentare caratteristiche geomeccaniche simili rispetto alla stabilità del versante prescindendo da età ed origine.
- Carta delle coperture, in cui andranno rappresentati i depositi di copertura detritici e residuali (terreno vegetale, suoli sepolti, piroclastiti, substrato alterato) distinti sulla base della loro genesi, tessitura e spessore (tarato con le indagini in situ); su tale carta vanno riportate le precedenti sezioni geologiche significative complete delle coperture, utili per la definizione di modelli evolutivi del versante.
- Carta delle pendenze, ripartita in intervalli di pendenza; gli intervalli da prendere in considerazione dovranno essere scelti in funzione sia dei parametri morfometrici e idrologici locali, riconosciuti anche con prove in situ, sia dei dati pluviometrici per la determinazione dei valori di soglia (elementi influenzanti la resistenza al taglio dei terreni);
- Carta geomorfologica di dettaglio, finalizzata alla valutazione della pericolosità a franare, che dovrà contenere, su base topografica aggiornata e georeferenziata a curve di livello leggibili, le forme denudazionali (erosionali e/o gravitative) e deposizionali connesse all'evoluzione recente dell'area in studio. Andranno poi cartografate le tendenze evolutive in relazione ai processi in atto, siano essi quiescenti o inattivi, definendo anche l'influenza della morfologia sull'idrologia superficiale e sotterranea in occasione di eventi meteorici sia normali che intensi ed eccezionali.

Andranno altresì cartografati i punti significativi e/o le opere (limite alveo-conoide, salti, attraversamenti, opere idrauliche, ostruzioni d'alveo, le strade, i sentieri, le aree percorse da incendio, ecc.) che possono essere responsabili di innesco dei processi morfologici.

Va inoltre rilevata la presenza di eventuali morfologie indicative di effetti di processi morfologici, quali:

- spianate sommitali coperte da depositi incoerenti che in prossimità dell'orlo possono essere al limite dell'equilibrio;
- aree con depositi potenti nelle zone di testata degli impluvi;
- forme deposizionali legate a movimenti di massa progressivi;
- effetti di processi di *creep* e di reptazione;
- deformazione dei terrazzi antropici;
- anomalie morfologiche (es. cumuli di frana non stabilizzati...) e/o interventi antropici in grado di procurare instabilità anche nei versanti a bassa pendenza;
- venute di acqua;
- aree in contropendenza e ristagni di acqua.

Crolli e ribaltamenti

In tale scenario si inseriscono processi tipici dei versanti ripidi e/o falesie anche costiere caratterizzate da rocce lapidee e/o da depositi e successioni stratigrafiche più o meno addensate e/o coesive.

A) Indagini, rilievi ed analisi

- rilievi strutturali in parete volti alla individuazione sia dei principali assetti che siano in grado di produrre instabilità che dei sistemi di discontinuità del versante. I rilievi dovranno prevedere l'individuazione dei sistemi di discontinuità e la collazione statistica, misurandone l'orientazione, la spaziatura, la rugosità, l'apertura e la persistenza definendo inoltre la natura dei sedimenti di riempimento dei sistemi individuati. Tali misure dovranno essere eseguite sui fronti;
- rilievo topografico del versante o della falesia a scala di dettaglio (es. 1:500) con metodi celerimetrici o con fotogrammetria terrestre; sullo stesso saranno riportate le discontinuità opportunamente georeferite;
- rilievi fotografici e relativa ubicazione su cartografia adeguata;
- rilievo morfologico del versante o della falesia volto alla determinazione del possibile percorso seguito dai blocchi rocciosi;
- installazione, ove considerata necessaria, di strumenti per il monitoraggio dei movimenti lungo le discontinuità.
- determinazione dei parametri per la caratterizzazione meccanica dei sistemi di discontinuità (tipologia, spaziatura, orientazione, lunghezza della traccia, rugosità, eventuale riempimento) e per la classificazione degli ammassi lapidei (metodi di Romana, Benjawsky, Hoek & Brown);
- verifiche di stabilità lungo le superfici di discontinuità rilevate, da eseguire pre-

ribilmente con il metodo dell'equilibrio limite con riferimento specifico alla sagoma dei blocchi ed al meccanismo di rottura;

- stima dei volumi di roccia potenzialmente soggetti a crollo.

B) Elaborati grafici

- carta geolitologico-strutturale con rappresentazione delle principali discontinuità;
- carta geomorfologica; nella stessa dovranno essere altresì individuati la fascia di scendimento ed i limiti di massimo espansione e dovranno essere indicati i possibili percorsi seguiti dai blocchi rocciosi.

SCORRIMENTI IN TERRENI ARGILLOSI

In tale scenario vengono inseriti gli scorrimenti rotazionali che avvengono con un movimento di rotazione; la superficie di rottura presenta di solito una forma arcuata, con la concavità verso l'alto.

A) Indagini e rilievi di campagna

- Sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, utili per l'accertamento della successione stratigrafica nel suo complesso ed, in particolare, per il rilievo degli spessori delle coperture argillose destrutturate. Vanno eseguiti in quantità opportune, proporzionate all'area da indagare, e comunque mai meno di tre per aree di ridotte dimensioni (utili per la ricostruzione tridimensionale della successione stratigrafica riconosciuta). La profondità dei sondaggi dovrà essere programmata per un valore pari a 1.5 volte lo spessore del presunto corpo di frana, spingendo poi il sondaggio per 5-10 m all'interno della formazione stabile soggiacente. L'uso di acqua di perforazione andrà limitato al fine di consentire il riconoscimento della presenza o dell'assenza (certificata in entrambi i casi) di elementi indicativi di depositi rimossi e rielaborati, quali paleosuoli, zone ossidate, fessurazione e superfici di taglio, frammenti lapidei, strati ammorbiditi, successioni destrutturate, colore (differente dalla formazione di base non alterata). I sondaggi andranno eseguiti su allineamenti disposti lungo le linee di massima pendenza. In aggiunta potrà risultare utile ricorrere ad indagini geofisiche per la individuazione della rigidità dei terreni attraversati e/o a prove penetrometriche statiche (CPT). Va sottolineata la necessità di monitorare alcuni sondaggi mediante inclinometri e piezometri.
- Prelievo di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove di laboratorio,

- e tali da caratterizzare geotecnicamente (A.G.I., 1994) tutti i differenti strati. Il campionamento dovrà essere di qualità e con campionatore con diametro (> 85 mm) sufficiente a carotare eventuali inclusi lapidei, frequenti nelle coltri rielaborate.
- Prove di laboratorio finalizzate alla definizione di un modello del sottosuolo da utilizzare per il calcolo della stabilità del versante e la progettazione degli interventi di consolidamento. Il modello dovrà comprendere anche il regime delle acque sotterranee e i sistemi di discontinuità. Andranno perciò determinate le principali proprietà fisiche e meccaniche dei terreni (A.G.I., 1994), quali: granulometria, peso specifico, peso di volume, contenuto d'acqua, limiti di Atterberg, coesione, attrito interno, resistenza al taglio, anche residuo nel caso di frane attive o riattivate.
 - Installazione di piezometri (a seconda dei casi, a tubo aperto o Casagrande) per il controllo del regime delle acque sotterranee, in numero idoneo alla definizione dell'andamento della falda e comunque disposti lungo la stessa verticale; la scelta dei piezometri è connessa alla natura dei terreni e ai valori attesi delle altezze piezometriche; il monitoraggio dovrà durare un intero anno.
 - Installazione di capisaldi topografici e/o interferometrici interni ed esterni alla zona instabile e di inclinometri per la misura, rispettivamente, degli spostamenti superficiali e profondi; il monitoraggio dovrà essere esteso almeno ad un intero anno al fine di rilevare possibili modificazioni legate a differenti periodi climatici.

B) Elaborati grafici

- Carta geolitologica corredata da sezioni stratigrafiche significative per la ricostruzione della superficie di scorrimento;
- Carta geomorfologica con perimetrazione delle aree in frana e loro classificazione in base allo stato di attività. Andranno cartografate:
 - le eventuali fratture nel terreno per trazione nella fascia topograficamente alta e/o di avvallamenti;
 - le eventuali fratture per compressione nella fascia topograficamente più bassa e/o la presenza di rigonfiamenti;
 - la presenza di fratture per taglio lungo i bordi;
 - la presenza di aree in contropendenza con ristagno di acqua;
 - le venute di acqua;
 - l'inclinazione di alberi e/o di manufatti verso valle;
 - le lesioni nelle strutture.

– la deformazione di terrazzamenti, di muri di contenimento, di sedi stradali.

Le valutazioni finali dovranno tener conto in particolare:

- dei dati interferometrici, inclinometrici e/o piezometrici, relativi ad un periodo di almeno un anno, effettuando almeno una lettura in giorni successivi ad intensi eventi piovosi;
- delle verifiche di stabilità su ipotetiche superfici di neoformazione, e nei casi di frane già avvenute, su superfici note con il metodo dell'analisi a ritroso, tenendo conto della sismicità dell'area.

Va inoltre confrontato il coefficiente di sicurezza prima e dopo l'intervento per valutare l'effettivo miglioramento delle condizioni di stabilità raggiunta.

FASE FINALE

I risultati delle indagini e delle analisi geologiche acquisite nelle fasi come sopra descritte, saranno riportati in una relazione finale; a questa sarà allegata una documentazione fotografica che illustri tutte le fasi di indagine. La relazione, oltre ad essere comprensiva degli elementi prima illustrati, dovrà essere redatta in conformità dell'art. 27 del DPR 554/1999 (Regolamento di attuazione della legge quadro sui LL.PP. n. 109/1994 e s.m.i.). In particolare, *“La relazione geologica comprende, sulla base di specifiche indagini geologiche, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo, definisce il modello geologico-tecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici nonché il conseguente livello di pericolosità geologica e il comportamento in assenza ed in presenza delle opere.”*

Sulla cartografia andranno indicate le ubicazioni dei siti fotografati opportunamente numerati e facilmente individuabili nell'allegato fotografico. Vanno altresì allegati i risultati dei rilievi e delle misurazioni, da riportare su carta e sotto forma di diagrammi. Nel caso di sopralluoghi effettuati in tempi successivi, dovrà essere approntato un accurato confronto dei dati raccolti per consentire una ricostruzione precisa e puntuale della evoluzione del versante.

Per quanto attiene i sondaggi a carotaggio continuo, le cui stratigrafie andranno allegate alla relazione conclusiva, si ricorda che le carote di terreno prelevate andranno alloggiate in cassette catalogatrici e poi fotografate entro 24 ore, previo loro scotico con spatola tagliente. Le informazioni riportate sulle cassette circa il cantiere, la data di perforazione, il numero di sondaggio e di cassetta, l'intervallo di profondità carotato,

ecc., dovranno essere leggibili ed incluse nelle foto; il fascicolo con le foto originali andrà allegato alla relazione. Similmente andrà fatto per le foto degli affioramenti naturali e/o della successione stratigrafica presente nei pozzetti esplorativi.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- AMANTI M., CHIESSI V., BERTOLINI G., RAMASCO M. & DE NARDO M.T. (2001), *Guida alla compilazione della scheda frane IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia)*, Allegato 1 al Progetto IFFI. Servizio Geologico Nazionale, Roma.
- A.P.A.T. (2006), *Fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti - Classificazione e simbologia*. APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici. Roma
- ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA (1994), *Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio*. A.G.I- Via Bormida, 2- Roma
- CRUDEN DAVID M. & VARNES DAVID J. (1996), *Landslide types and processes*. In: Landslides, investigation and mitigation, Special Report 247, ed. A. C. Turner & R. L. Schuster, Transportation Research Board, National Research Council; National Academy Press, Washington, D.C.; pp. 36-75
- GRUPPO NAZIONALE GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA (1993), *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. A cura di PELLEGRINI G.B., CARTON A., CASTALDINI D., CAVALLIN A., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., GENTILI B., LAURETI L., PRESTININZI A., RODOLFI G., SAURO U., SORRISO VALVO M. & SPAGNA V.; Geogr. Fis. Dinam. Quat., **16**, 129-152.
- GRUPPO NAZIONALE GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA (G.N.G.F.G.) (1987), *Cartografia della pericolosità connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti*. Nota a cura di: CARRARA A., CARTON A., DRAMIS F., PANIZZA M. & PRESTININZI A., Boll. Soc. Geol. It., **100**, 199-221
- HUNGR O, EVANS SG, BOVIS M, E HUTCHINSON JN (2001), *Revisione della classificazione delle frane del tipo di flusso*. Ingegneria Ambientale e Geoscienze, VII, 221-238.
- VARNES DAVID J. (1978), *Slope movement, types and processes in Landslides, analysis and control*. Special Report 176, ed. R. L. Schuster & R. J. Krizek, Transportation Research Board, Commission on Sociotechnical Systems, National Research Council; National Academy of Sciences, Washington, D.C.; pp. 11-33
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (SGI) (1996), *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione (IFFI)*. In collaborazione con CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE LINEA 2. A cura di AMANTI M., CASAGLI N., CATANI F., D'OREFICE M., MOTTERAN G., Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

Stima dell'erosione dei suoli nel territorio della regione Abruzzo

(1) CRA, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Roma
e-mail chiara.piccini@entecra.it

(2) ARSSA, Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo Regione Abruzzo, Avezzano (AQ)

RIASSUNTO

L'erosione costituisce una delle principali cause della degradazione del suolo, e in Italia in modo particolare è un fenomeno diffuso e di rilevante entità. La complessità del territorio, dominato da rilievi montuosi e collinari, combinata con le sue peculiari caratteristiche geologiche e pedologiche, un clima variabile da Mediterraneo a sub-continentale, e i diversi tipi di uso e gestione agroforestale del suolo, rendono questi ambienti particolarmente fragili. Il controllo dell'erosione richiede un'attenta valutazione, sia quantitativa sia qualitativa, della sua entità potenziale, nonché la conoscenza del territorio, in particolare la sua morfologia, i tipi di suolo presenti, le pratiche di coltura e di gestione adottate. Quindi, una rappresentazione cartografica del rischio di erosione a scala regionale è una primaria necessità, al fine di ricavare informazioni utili a meglio gestire e pianificare l'utilizzo della risorsa suolo e dell'ambiente in generale.

L'area studiata corrisponde al territorio della regione Abruzzo, che presenta il 40% di superficie agricola utilizzata ed è ampiamente interessata da fenomeni erosivi. Tali fenomeni possono comportare una consistente perdita di suolo fertile, causando ingenti danni all'agricoltura e all'ambiente. I dati a disposizione consistevano in misure delle caratteristiche di 1753 profili di suolo, dati climatici da 17 stazioni meteorologiche, un modello digitale del terreno (DEM) con risoluzione a 20 m, e immagini Landsat. Al fine di fornire una stima della perdita di suolo che abbia un ragionevole grado di approssimazione, è stata effettuata una valutazione dell'entità dell'erosione utilizzando la Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), i cui fattori sono stati determinati adattando alla situazione italiana diversi algoritmi proposti in letteratura.

I fattori R e K sono stati derivati dai dati climatici e pedologici misurati, il fattore LS è stato derivato dal DEM, mentre i fattori C e P sono stati ricavati da specifica cartografia tematica (CORINE Land Cover). La spazializzazione dei fattori R e K a partire dai dati puntuali è stata effettuata con la tecnica del kriging regressivo, utilizzando variabili

ausiliarie ricavate dal DEM e dalle immagini Landsat.

Dalla combinazione dei fattori della RUSLE sono state ottenute le carte relative all'erosione potenziale e attuale della regione Abruzzo. La procedura proposta ha permesso di ottenere utili informazioni per la pianificazione territoriale a partire da dati preesistenti, a costi contenuti e con un elevato grado di attendibilità; le cartografie ottenute rappresentano validi strumenti a supporto dei decisori per la prevenzione e la mitigazione del rischio di erosione.

Parole chiave: Erosione, RUSLE, Abruzzo, GIS.

1. INTRODUZIONE

L'erosione idrica del suolo è un processo fisico naturale che consiste nell'asportazione del materiale che costituisce lo strato più superficiale del terreno a causa dell'azione dell'acqua; è uno dei processi responsabili della dinamica della superficie terrestre, determinandone il continuo rimodellamento. Tale processo è influenzato dal clima, dalle caratteristiche intrinseche dei suoli, dalle forme del paesaggio, dall'idrologia, dalla vegetazione, dalle colture attuate e dai sistemi di lavorazione e di coltivazione, e può essere notevolmente intensificato e accelerato da quelle attività dell'uomo che comportano l'utilizzazione del terreno: coltivazione, pascolo, costruzione di infrastrutture. La velocità con cui l'erosione si verifica negli agroecosistemi è strettamente legata sia alle condizioni climatiche sia alle pratiche agronomiche adottate: tecniche colturali e pratiche agricole inadeguate, modifiche delle condizioni idrologiche, deforestazione e marginalizzazione o abbandono dei terreni possono provocare un degrado progressivo della fertilità e delle funzioni ambientali svolte dal suolo. L'erosione, intesa quindi come erosione accelerata, è tra le principali forme di degradazione del suolo, e rappresenta un problema estremamente diffuso a livello globale. Secondo le stime dell'Unione Europea, 115 milioni di ettari, pari a un ottavo della superficie totale delle terre emerse europee, sono soggetti ad erosione idrica (Rusco *et al.*, 2007).

L'erosione accelerata rimuove il terreno molto più rapidamente di quanto i processi di formazione del suolo possano contribuire alla sua creazione; i danni che provoca nel suolo sono il degrado della struttura, l'aumento della frazione grossolana, la compattazione della superficie con riduzione dell'infiltrazione idrica e conseguente ridotto apporto idrico alla falda freatica, la formazione di ruscelli e canali, lo sradicamento di alberi, e la perdita di suolo superficiale, più ricco di sostanze nutritive, che riduce la fertilità e, di conseguenza, compromette la capacità produttiva del suolo stesso; laddove i suoli sono poco profondi tale fenomeno si traduce in una perdita irreversibile di terre coltivabili.

Oltre a rappresentare una minaccia per la risorsa suolo, l'erosione accelerata è una componente fondamentale del dissesto idrogeologico: può causare notevoli danni all'ambiente, innescando dissesti che possono produrre gravi danni a uomini e cose e che comunque alterano fortemente il paesaggio; il materiale eroso viene poi trasportato a valle aumentando il trasporto solido dei corsi d'acqua, riducendone la capacità di portata e incrementando i rischi di inondazione, con danni agli insediamenti umani e alla linea di costa (interramento di vie navigabili e porti); l'eccessiva sedimentazione del materiale in terra i canali irrigui, riduce l'efficienza e la durata in servizio dei serbatoi e può ostruire le reti fognarie; in più, il materiale eroso è spesso ricco di sostanze chimiche provenienti dalle pratiche agricole, le quali tendono a distribuirsi sul territorio e a concentrarsi nei corsi d'acqua provocandone la contaminazione e l'eutrofizzazione. L'erosione è pertanto un fenomeno da controllare con attenzione: l'obiettivo della ricerca è generalmente quello di definire opportune misure conservative la cui adozione possa ridurre, se non eliminare, i pericoli di eccessiva perdita di suolo e rilascio di sedimenti.

La regione mediterranea, e quindi la penisola italiana, è particolarmente soggetta all'erosione quando a lunghi periodi di siccità fanno seguito piogge abbondanti, che cadono su suoli spesso fragili e posti in pendenza. Nel nostro paese a rendere l'ambiente particolarmente suscettibile a questa forma di degra-

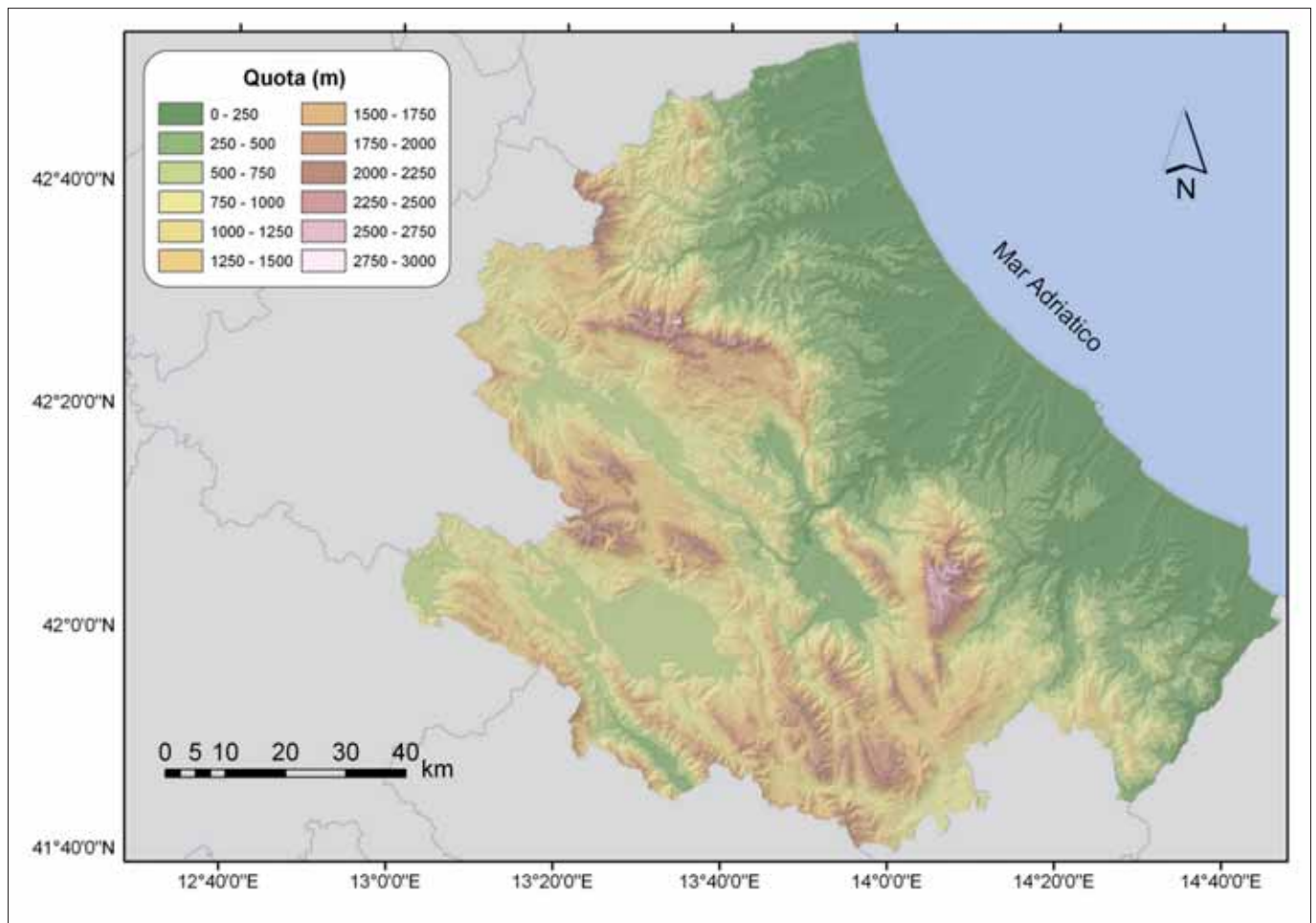


Figura 1 – Modello digitale del terreno della regione Abruzzo (risoluzione 20m).

dazione concorrono la complessa morfologia del territorio, le sue peculiari caratteristiche geologiche e pedologiche, il clima (che va dal tipo mediterraneo al sub-continentale), e i diversi usi agricoli e forestali che del territorio vengono fatti.

Tra le cause dell'erosione accelerata vi sono tuttora le pratiche agricole inadeguate, la deforestazione, il sovrappascolamento, gli incendi boschivi e la cementificazione spinta del territorio.

La valutazione del rischio di erosione è la base per la pianificazione degli interventi di protezione, e richiede una attenta valutazione di tipo sia quantitativo sia qualitativo effettuata in maniera sito-specifica, la conoscenza delle caratteristiche del territorio, dei suoli presenti e delle pratiche agronomiche e di gestione in esso adottate. In molte situazioni può essere più interessante conoscere la distribuzione spaziale del rischio di erosione del suolo piuttosto che i valori assoluti di perdita di suolo: l'indagine territoriale, e la cartografia del rischio di erosione a livello regionale, è pertanto una primaria necessità per il supporto alla pianificazione delle strategie di conservazione del suolo e alle decisioni in materia ambientale, sia a livello nazionale sia a livello locale.

Per la stima dell'erosione, a fini applicativi e per studi territoriali, viene ampiamente

usata in tutto il mondo la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation - Renard *et al.*, 1997), che consiste in un set di equazioni che stimano la perdita di suolo e la produzione di sedimento, derivata dallo studio dei processi erosivi su un numero elevato di anni di osservazioni parcellari sotto l'influenza di pioggia naturale o simulata.

I metodi che includono i sistemi informativi geografici (GIS) e i modelli digitali del terreno (DEM) per la stima dell'erosione danno risultati significativamente migliori rispetto ai metodi tradizionali (Wang *et al.*, 2003; Lu *et al.*, 2004), consentendo di produrre carte attendibili relative ad aree più ampie, con una migliore accuratezza e a costi accettabili.

Nel presente lavoro l'applicazione della RUSLE ha permesso di ottenere le carte dell'erosione potenziale e reale della regione Abruzzo.

2. MATERIALI E METODI

2.1. AREA IN STUDIO

L'area investigata corrisponde al territorio della regione Abruzzo; si tratta di una delle regioni italiane più montuose, con un territorio molto complesso ed eterogeneo. Infatti, nel raggio di pochi km si passa dall'alta montagna alla costa, passando attraverso tutti gli ambienti intermedi (forestale, collinare, pianura e bacino). Le catene montuose seguono

la direttrice appenninica (NW-SE), mentre l'idrografia è disposta in senso perpendicolare. Il clima è di tipo mediterraneo caldo e secco lungo la costa, di tipo alpino sui rilievi.

In figura 1 è riportato il modello digitale del terreno.

I suoli appartengono alle *Soil Regions* 61.3, 61.1 e 16.4 così come sono state definite dall'European Soil Bureau (2001):

- SR61.3 Colline dell'Italia centrale e meridionale su depositi marini del Pliocene e del Pleistocene, e sedimenti alluvionali olocenici lungo la costa adriatica;
- SR 61.1 Rilievi appenninici e preappenninici su rocce sedimentarie (flysch marnoso-arenaceo) dell'Italia centrale e meridionale;
- SR16.4 Rilievi appenninici su calcari, dolomie e marne mesozoici e terziari, e conche intramontane (Costantini *et al.*, 2004).

La regione ha circa il 40% di superficie agricola utilizzata, che risulta ampiamente interessata da fenomeni erosivi di forte intensità.

2.2 RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI

I dati disponibili per questa regione comprendevano dati misurati da 1.753 profili di suolo descritti ed analizzati dall'ARSSA (Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo) in più campagne di misura e

contenuti nella banca dati regionale, i dati climatici provenienti da 17 stazioni meteorologiche appartenenti alla rete pluviografica nazionale, un modello digitale del terreno con risoluzione a 20 m, immagini satellitari Landsat 7 TM (luglio 2007, scelte per la totale assenza di nubi), la carta di uso del suolo del CORINE Land Cover (European Environmental Agency, 2002), e la carta dei sottosistemi di terre dell'Abruzzo in scala 1:250.000 redatta dall'ARSSA (Chiuchiarelli *et al.*, 2006).

L'erosione è un fenomeno complesso, le cui cause sono molteplici. Nella RUSLE, espressa generalmente come segue

$$E = R \times K \times LS \times C \times P$$

la perdita di suolo (quantità di terreno erosa) E viene considerata funzione di sei fattori: erosività o azione battente dell'acqua, sia di precipitazione che di ruscellamento (R), erodibilità del suolo (K), caratteristiche topografiche (acclività e lunghezza del pendio, rappresentate tipicamente da un fattore topografico combinato LS che caratterizza gli effetti della topografia e dell'idrologia), tipo di copertura e di gestione (C), e pratiche conservative (P) (Renard *et al.*, 1997).

L'uso del GIS permette la manipolazione, l'analisi e la visualizzazione di grandi quantità di dati georeferenziati in maniera efficace ed efficiente; per questo molti studiosi si sono indirizzati verso una integrazione della RUSLE e del GIS, utilizzando il modello dati raster. In tale modello gli oggetti presenti nella carta vengono rappresentati per mezzo di celle, dando così la possibilità di analizzare dati continui e di elaborare rapidamente le carte anche per mezzo di strumenti di sovrapposizione.

In primo luogo, il GIS è stato qui utilizzato per calcolare ciascun singolo fattore della RUSLE. Il fattore R richiede la conoscenza delle caratteristiche di piovosità, pertanto è stato stimato utilizzando le medie mensili dei dati di precipitazione di un periodo di circa 30 anni. Per ciascuna stazione considerata il valore di R è stato assunto pari alla mediana dei valori calcolati mediante 6 algoritmi diversi, i più utilizzati in letteratura, secondo quanto proposto da Bazzoffi (2007). La spazializzazione è stata effettuata tramite kriging regressivo, utilizzando quale predittore la quota ricavata dal DEM.

Il fattore erodibilità del suolo K, che rappresenta la perdita di suolo per unità di R, è influenzato principalmente dalla granulometria e dal contenuto di sostanza organica; pertanto è stato stimato a partire dai dati misurati nei profili di suolo, secondo il metodo proposto da Torri *et al.* (1997). La spazializzazione è stata effettuata ancora tramite kriging regressivo, utilizzando come predittori alcuni parametri morfometrici ricavati dal DEM (quota, gradiente di pendio, piano e profilo di curvatura, radiazione solare, Topographic Wetness Index, accumulo di flusso e Stream Power Index); altri indici sono stati ricavati dalle immagini satellitari (Clay Index e Normalized Difference Vegetation Index), e infine l'indice SST86 è stato ottenuto convertendo in raster la carta dei sottosistemi di terre.

Il fattore topografico LS è stato derivato direttamente dal DEM, secondo il metodo proposto da Mitasova *et al.* (1996). Dalla combinazione di questi tre fattori si ottiene la carta dell'erosione potenziale del suolo, espressa come perdita annuale di suolo media in tonnellate per ettaro per anno ($t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$). Aggiungendo nell'elaborazione i fattori C e P si

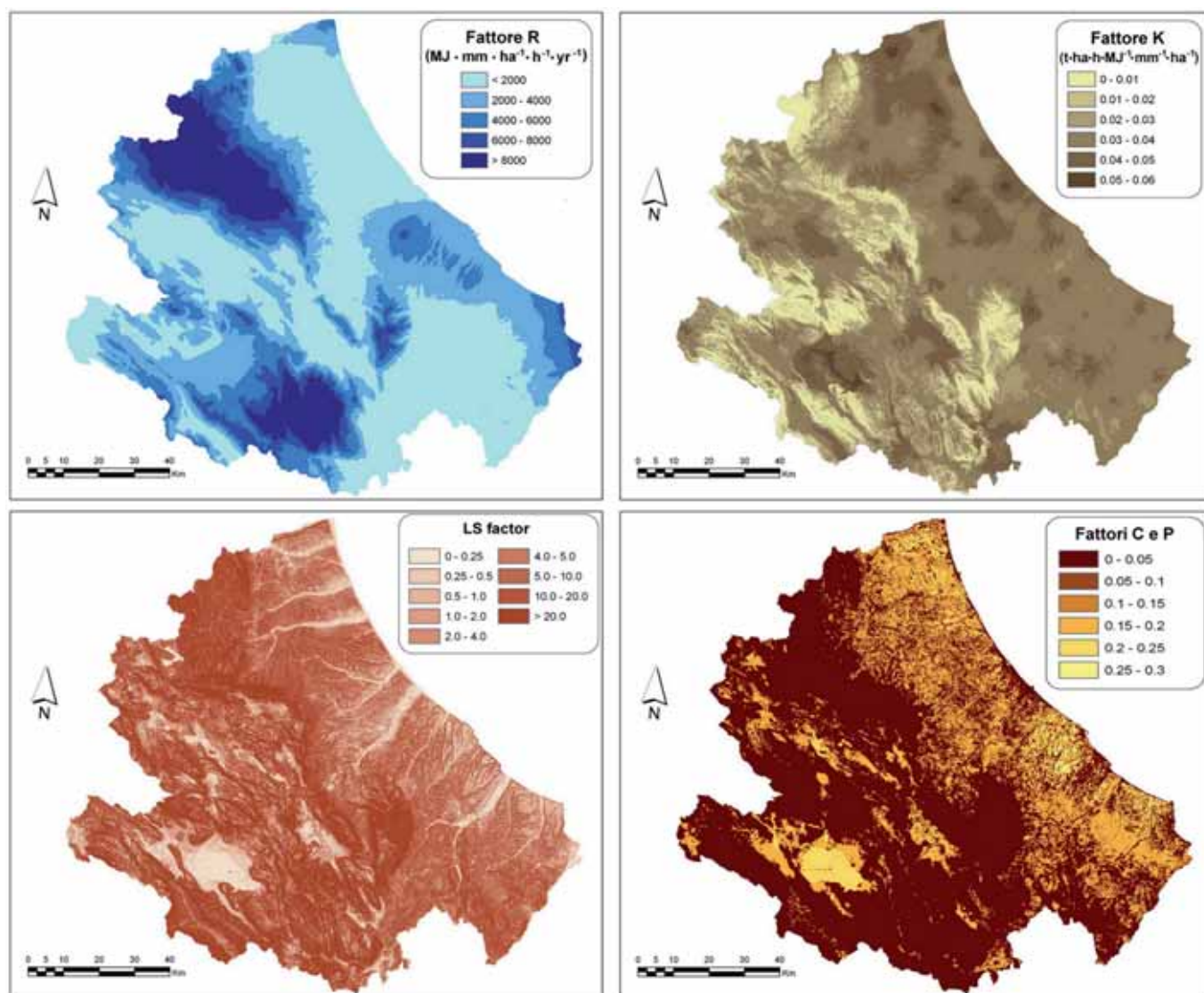


Figura 2 – Carte dei singoli fattori della RUSLE.

ottiene la carta dell'erosione reale del suolo. I fattori C e P vengono spesso considerati insieme, e sono stati stimati a partire dalla carta di uso del suolo del CORINE Land Cover, assegnando a ciascuna classe un valore di CxP compreso tra 0 e 1 (Bazzoffi, 2007). L'immagine vettoriale ottenuta è stata convertita in una griglia con la stessa risoluzione del fattore LS (20 m).

Le quattro immagini relative ai fattori sono quindi state sovrapposte utilizzando gli strumenti GIS e normali operazioni di *map algebra* per generare le carte finali.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

In figura 2 sono riportate le carte ottenute per ciascuno dei fattori della RUSLE. Sovrapponendo i fattori R, K ed LS è stata ottenuta la carta dell'erosione potenziale (figura 3), che valuta la vulnerabilità all'erosione del suolo nelle condizioni pedoclimatiche e morfologiche del territorio, mettendo in luce le aree più esposte al rischio erosivo; si assumono le peggiori condizioni possibili di copertura vegetale e l'assenza di pratiche conservative (Van der Knijff *et al.*, 2000), e quindi una ipo-

valutazione territoriale che tenga in debita considerazione la "sostenibilità" del rischio; il Soil Conservation Service dell'USDA (United States Department of Agriculture) considera accettabili tassi di erosione compresi tra 2 e 11 t ha⁻¹ yr⁻¹, in relazione a diverse caratteristiche sito-specifiche (Bazzoffi, 2007). Nel caso della regione Abruzzo la classe con perdite tra 5 e 10 t ha⁻¹ yr⁻¹ è stata considerata come limite della soglia di attenzione. Possiamo vedere che oltre il 50% del territorio regionale supera il valore di 10 t ha⁻¹ yr⁻¹, di cui quasi il 25% presenta una perdita di suolo potenziale che supera le 40 t ha⁻¹ yr⁻¹, valore che viene considerato come "perdita elevata".

Le zone con la più alta perdita potenziale sono localizzate principalmente lungo la fascia collinare alle spalle della costa, dove l'erodibilità del suolo e le caratteristiche topografiche costituiscono i fattori prevalenti, nonché in alta montagna, dove l'energia del rilievo è molto maggiore e l'erosività della pioggia è predominante. Inoltre, i processi erosivi attivi sulle colline sono spesso favoriti dagli effetti di pratiche agricole intensive.

disturbo, dall'altro tutte quelle pratiche che mirano alla conservazione, quali la lavorazione a girapoggio, la coltivazione a strisce livellari (strip-cropping), il terrazzamento, il drenaggio profondo, effetti descritti dai fattori C e P, si ottiene la carta dell'erosione reale in Abruzzo (figura 4). Si tratta di una stima della suscettività del territorio all'erosione in presenza dei differenti usi del suolo attuali.

La perdita reale di suolo è di entità molto inferiore alla potenziale, particolarmente nelle aree forestali interne, poiché la copertura arborea favorisce la formazione nel suolo di orizzonti ricchi di sostanza organica, efficace nel contrastare i processi erosivi. Nelle aree agricole una sostanziale riduzione dell'erosione può invece essere raggiunta quando vengano adottate pratiche conservative. Alla luce di ciò risulta che oltre l'83% del territorio abruzzese ha un valore reale di perdita di suolo media inferiore alla soglia di attenzione precedentemente indicata (10 t ha⁻¹ yr⁻¹), di cui circa il 67% al di sotto delle 2 t ha⁻¹ yr⁻¹, le porzioni di territorio con un valore che supera le 10 t ha⁻¹ yr⁻¹ e le 40 t ha⁻¹ yr⁻¹ si riducono rispettivamente al 16,6% e al 2,0%.

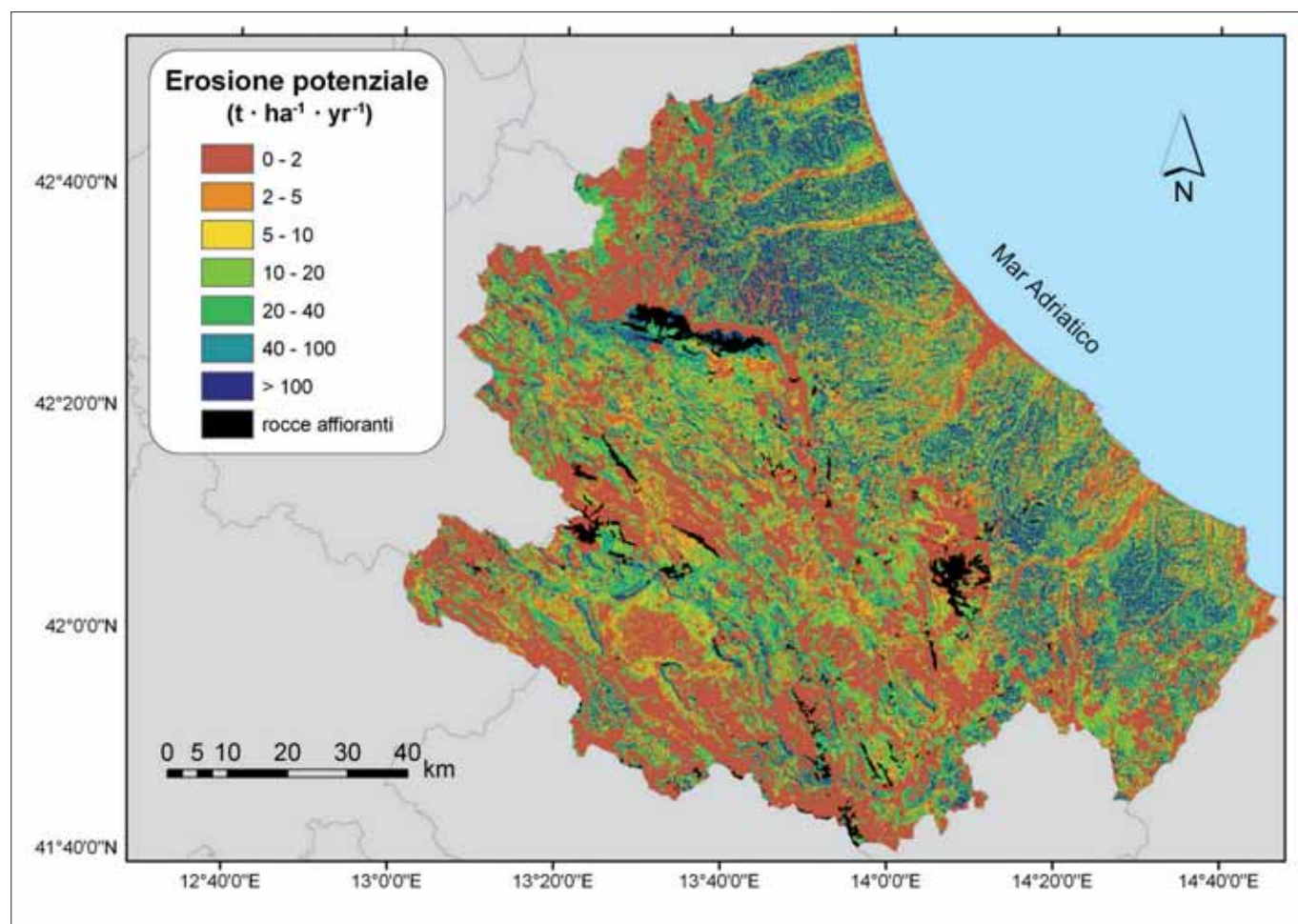


Figura 3 – Carta dell'erosione potenziale del suolo.

tetica condizione di suolo totalmente esposto all'azione battente della pioggia.

L'accettabilità del rischio d'erosione deve essere frutto di un'attenta analisi e di una

Se nella valutazione della perdita di suolo prendiamo in considerazione da un lato gli effetti della copertura, le irregolarità presenti sulla superficie, la biomassa e le attività di

Il modello RUSLE può essere utilizzato anche per simulare scenari ipotetici con differenti condizioni, stimando la quantità di suolo che si perderebbe al variare di diversi

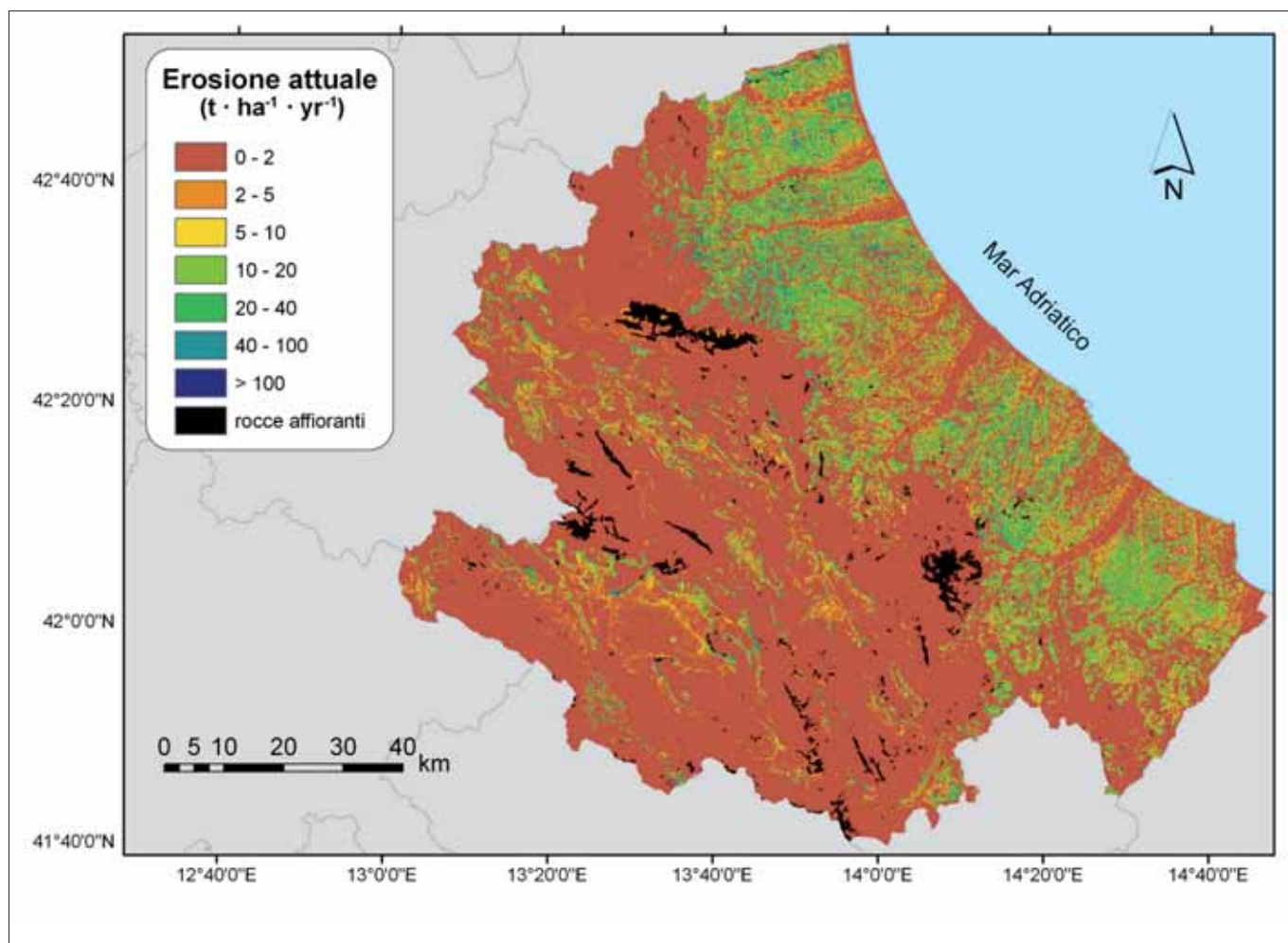


Figura 4 – Carta dell'erosione reale del suolo.

fattori ambientali quali variazioni stagionali, variazioni nella quantità o nel regime delle precipitazioni, variazioni nel tipo di copertura vegetale nonché delle pratiche di coltivazione e di gestione.

4. CONCLUSIONI

La RUSLE è ampiamente usata in tutto il mondo per la stima delle perdite annuali medie di suolo. Combinando i fattori della RUSLE con l'ausilio del GIS sono state ottenute le carte dell'erosione potenziale e reale del suolo nella regione Abruzzo, carte che costituiscono la base per una valutazione della distribuzione spaziale del rischio di erosione del suolo.

Circa un quarto del territorio complessivo risulta avere un'elevata erosione potenziale, espressa come perdita di suolo annuale media, i cui valori vengono ad essere ampiamente ridotti se si considerano gli effetti positivi della copertura vegetale e delle pratiche conservative.

Proteggere il suolo con la vegetazione è quindi molto importante nell'ottica della conservazione della risorsa suolo e conseguentemente della risorsa acqua.

La procedura qui utilizzata per la cartografia ha permesso di effettuare una stima spaziale dell'erosione del suolo in maniera relativamente facile, rapida ed economica,

in modo da ottenere informazioni attendibili per indirizzare i decisori politici nella corretta gestione del territorio, in particolare nella prevenzione e attenuazione del rischio di erosione. La stessa procedura può essere utilizzata anche per modellizzare vari possibili scenari con diverse situazioni ambientali e di gestione, stimando la quantità di suolo che verrebbe persa se, per esempio, una data porzione di territorio venisse convertita da uso forestale ad agricolo e viceversa.

BIBLIOGRAFIA

- BAZZOFFI P. (2007), *Erosione del suolo e sviluppo rurale*. Edagricole de Il Sole 24ore, Bologna.
- CHIUCHIARELLI I., PAOLANTI M., RIVIECCO R., SANTUCCI S. (2006), *Suoli e Paesaggi d'Abruzzo – Carta dei suoli della Regione Abruzzo*. ARSSA Regione Abruzzo.
- COSTANTINI E.A.C., URBANO F., L'ABATE G. (2004), *Soil Regions of Italy*. <http://www.soilmaps.it>.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2002), *CORINE Land Cover update, I&CLC2000 project Technical Guidelines*. European Topic Center Terrestrial Environment.
- EUROPEAN SOIL BUREAU (2001), *Georeferenced soil database for Europe. Manual of procedures, Version 1.1*. EUR 18092 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 178 pp.
- MITASOVA H., HOFIERKA J., ZLOCHA M., IVERSON R.L. (1996). *Modeling topographic potential for*

erosion and deposition using GIS. Int. Journal of Geographical Information Science, 10 (5): 629-641.

- RENARD K.G., FOSTER C.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K., YODER D.C. (1997), *Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, U.S. Government Printing Office, SSOP Washington DC.

LU D., LI G., VALLADARES G.S., BATISTELLA L. (2004), *Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS*. Land Degrad. Develop., 15: 499-512.

RUSCO E., MONTANARELLA L., TIBERI M., ROSSINI L., RICCI P., CIABOCCO G., BUDINI A., BERNACCONI C. (2007), *Implementazione a livello regionale della proposta di Direttiva quadro sui suoli in Europa*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593.

TORRI D., POSEN J., BORSSELLI L. (1997), *Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset*. Catena, 31: 1-22.

VAN DER KNIFF J.M., JONES R.J.A., MONTANARELLA L. (2000), *Soil Erosion Risk Assessment in Italy*. http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/grimm/italia/eritaly.pdf.

WANG G., GERTNER G., FANG S., ANDERSON A.B. (2003), *Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69: 889-898.

Variabilità climatica e ricorrenza delle calamità idrogeologiche in Puglia

POLEMIO MAURIZIO
CNR IRPI, Bari
e-mail: m.polemio@ba.irpi.cnr.it

LONIGRO TERESA
CNR IRPI, Bari

RIASSUNTO

Il contributo si basa sull'analisi di diversi tipi di dati, elaborati fino a costituire serie storiche mensili inerenti il clima (pioggia, temperatura, giorni piovosi e intensità di pioggia) dal 1877 al 2008. Nonostante la tendenza al calo della piovosità e dell'intensità di pioggia e all'incremento della temperatura e dei giorni piovosi, si osserva la crescente ricorrenza di piene e frane, a conferma della crescente antropizzazione di aree a pericolosità idrogeologica.

La discussione delle relazioni clima-frane ha evidenziato delle limitazioni ragionevolmente dovute al concentrarsi delle frane in parte del territorio e alla minore qualità del dato storico.

INTRODUZIONE

Recenti ricerche internazionali hanno posto in evidenza una sempre più marcata e preoccupante variazione climatica, che si evidenzia in un aumento graduale, ma costante, delle temperature ed in una variata distribuzione delle precipitazioni, le quali si concentrano in alcuni periodi dell'anno, assumendo spesso un carattere di eccezionalità per quanto riguarda la loro intensità (EEA 2008). Conseguenze evidenti di tali variate condizioni climatiche sono i periodi di siccità, il progressivo inaridimento dei terreni, l'impoverimento delle risorse idriche e l'aumento di fenomeni di dissesto idrogeologico.

Anche il territorio dell'Italia meridionale, della Puglia in particolare, risente delle variazioni climatiche, subendo rilevanti effetti in termini di calo di disponibilità di risorse idriche (Polemio & Casarano 2008). Per lo stesso territorio ci si pone l'obiettivo di discutere se esistano, e quali siano, le relazioni tra le variazioni climatiche e l'occorrenza di fenomeni di dissesto idrogeologico, in particolare frane e piene. A questo fine sono stati costituiti due diversi database, uno climatico, relativo ai dati mensili inerenti pioggia, giorni piovosi, intensità di pioggia e temperatura, ed un altro inerente gli eventi idrogeologici dannosi. Ciò permette di definire il trend dei parametri climatici, di frane e piene catastrofiche e di incrociare la discussione delle diverse serie storiche.

INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

La Puglia si estende per circa 20.000 km² dei quali il 54,2% è pianeggiante, il 44,4% collinare e solo l'1,4% risulta montuoso. I rilievi si concentrano soprattutto nel Subappennino dauno, dove la massima quota raggiunge i 1.152 m s.l.m. (M.te Cornacchia) e nel Gargano (M.te Calvo, 1056 m s.l.m.). Dal punto di vista amministrativo la regione è suddivisa in 6 province (compresa la neonata provincia BAT) e 258 comuni.

Da est verso ovest è possibile riconoscere tre diversi domini geologici, legati alla fase orogenetica appenninica: l'avampaese, l'avanfossa e la catena, che nel nostro territorio prendono il nome rispettivamente di Avampaese Apulo, Fossa Bradanica e Catena Appenninica meridionale (Fig. 1).

L'Avampaese rappresenta la porzione stabile di tutto il sistema orogenetico, la zona verso cui vergono tutte le strutture appenniniche ed è costituito essenzialmente da sedimenti carbonatici di piattaforma depositatisi durante il Giurassico superiore - Cretaceo. Affiora nel Promontorio del Gargano, nell'altopiano delle Murge e nel Salento (Ricchetti et al. 1988). È rappresentato da calcari micritici,

con un contenuto fossilifero abbastanza elevato. La successiva emersione della piattaforma carbonatica è testimoniata da forme di incisione fluviale (lame, forre e gravine) e da forme tipiche del carsismo (doline, grotte e cavità sotterranee).

Spostandosi verso est si incontrano i depositi clastici plio - pleistocenici di riempimento della Fossa Bradanica, in trasgressione sui termini carbonatici di piattaforma; il ciclo di sedimentazione completo comprende calcarenite, argille, sabbie e conglomerati (Casnedi 1988).

In corrispondenza del Subappennino dauno si rinvencono termini ascrivibili alla Catena Appenninica; questi sono costituiti essenzialmente da depositi marini e terrigeni prevalentemente di natura carbonatica, appartenenti ai diversi bacini di sedimentazione pre-orogenetici (D'Argenio et al. 1973). Le spinte tettoniche hanno poi impilato i sedimenti che oggi risultano caotici e fortemente tettonizzati; inoltre risultano avere scarse proprietà geotecniche e non stupisce quindi il fatto che la maggior parte dei dissesti di versante si verifichi proprio in corrispondenza di tale area.

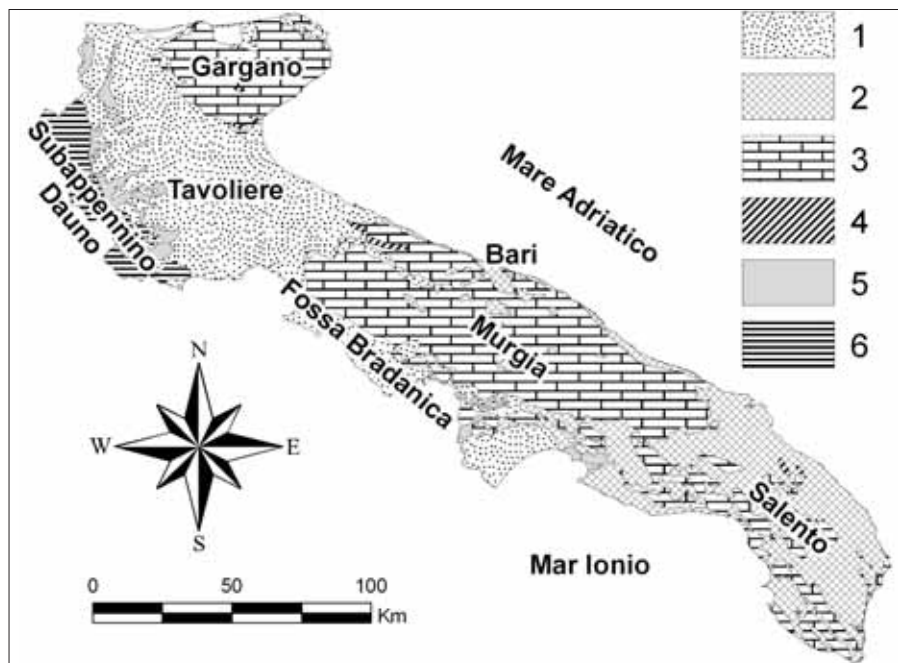


Figura 1 – Carta geologico-tecnica della Puglia. 1 - Argille sabbiose, sabbie argillose, sabbie e ghiaie; 2 - Sabbie, limi, calcareniti, calcari e dolomie; 3 - Calcari e dolomie; 4 - Calcareniti ed arenarie; 5 - Argille marnose; 6 - Flichs calcareo marnoso.

IL DATABASE CLIMATICO E GLI INDICI SINTETICI

Il database climatico a disposizione del Cnr – Irpi comprende i dati relativi a precipitazioni, temperature e giorni piovosi rinvenuti dagli Annali Idrologici e relativi agli anni 1919 – 1996. Tale database è stato integrato con dati storici precedenti a quelli reperibili dagli Annali, consultando alcune pubblicazioni del Prof. Eredia, dai quali è stato possibile risalire fino al 1877. I dati più recenti (fino al 2008) sono stati forniti dal Centro Funzionale del Servizio di Protezione Civile della Regione Puglia.

Per questa nota sono stati utilizzati dati mensili di temperatura T, pioggia P e giorni piovosi GP (giorni in cui la pioggia è maggiore o uguale ad 1 mm). Per quanto riguarda i giorni piovosi bisogna precisare che dal 1920 gli Annali riportano, nel conteggio del numero totale dei giorni piovosi dell'anno, solo il numero di giorni nei quali si è accumulata una quantità di pioggia uguale o superiore ad 1 mm. I dati storici precedenti al 1920 considerano nel totale, invece, anche i giorni di pioggia durante i quali si è misurata una quantità di pioggia inferiore ad 1 mm. Per rendere confrontabili tali grandezze è stata effettuata una specifica correzione statistica sui dati precedenti il 1920.

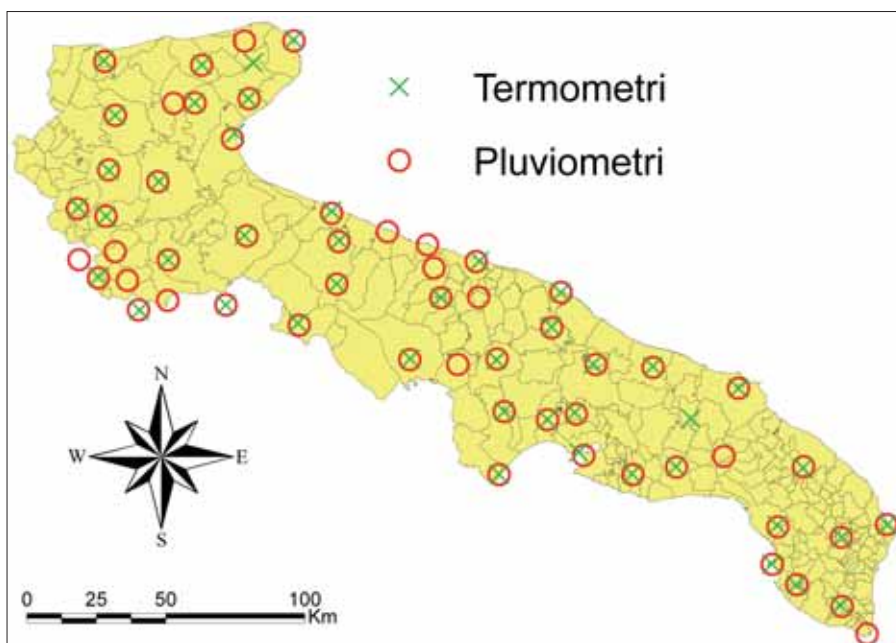


Figura 2 – Stazioni termopluviometriche.

Dal dataset sono state selezionate 60 stazioni pluviometriche localizzate su tutto il territorio pugliese, di cui 47 dotate anche della strumentazione per la misurazione della temperatura, selezionate con il criterio di minimizzare le lacune ottimizzando la densità delle stazioni (Fig. 2). Infatti le migliori serie storiche sono quelle che, con il minor numero

di lacune possibili, coprono un arco temporale maggiore.

Per ciascun mese e stazione è stata inoltre calcolata l'intensità I di precipitazione dei giorni piovosi (in seguito intensità di pioggia) come rapporto tra la pioggia mensile P ed il numero di giorni piovosi GP. Nel seguito ci si riferisce sempre all'anno idrologico, che

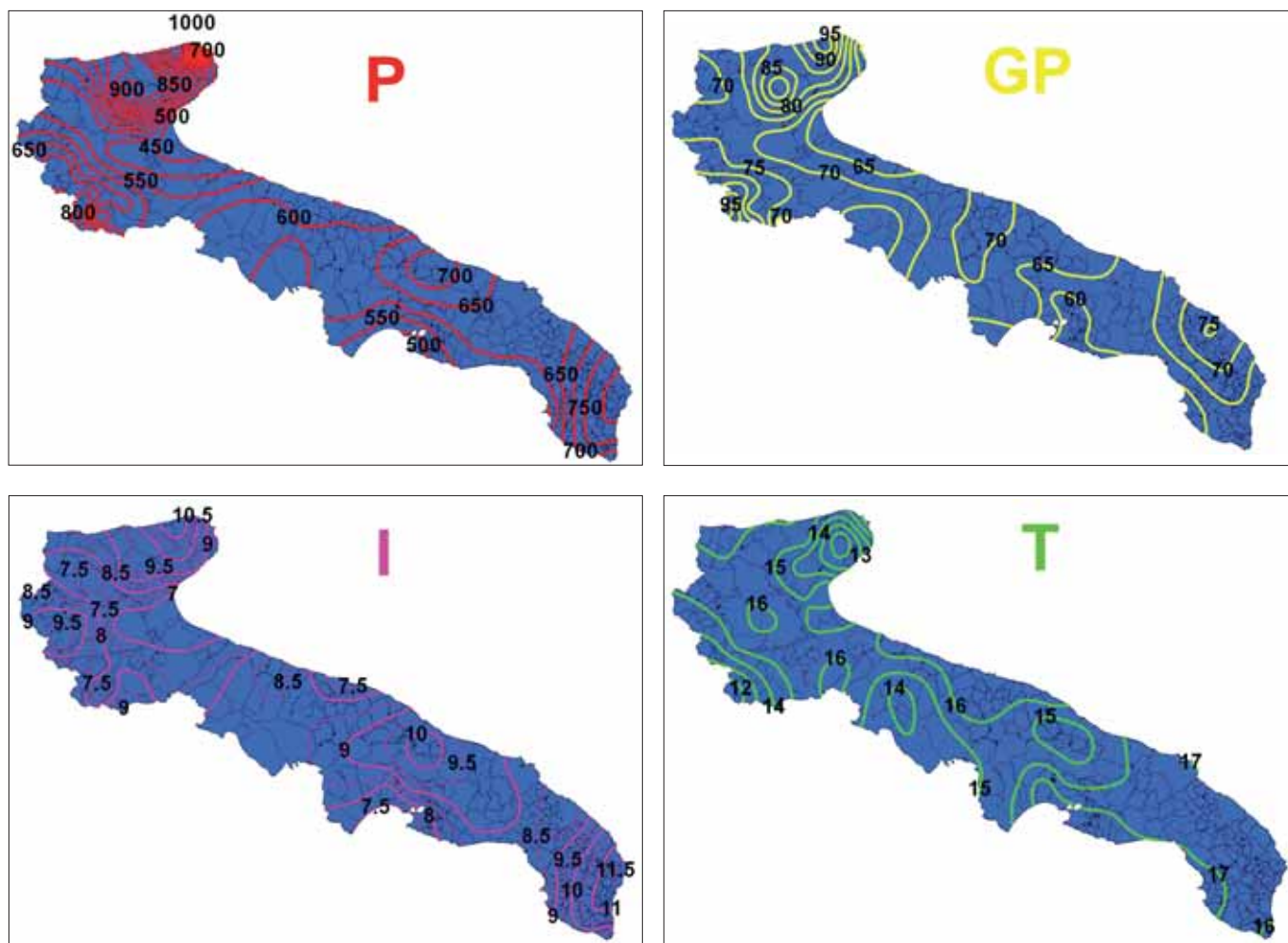


Figura 3 – Mappe dei valori medi annui (1877-2008) di: piovosità annua (P, mm), numero di giorni piovosi (GP), intensità della piovosità giornaliera (I, mm/giorno) e temperatura (T, °C).

si estende da settembre del medesimo anno solare ad agosto di quello successivo.

Per ciascuno dei parametri climatici prima menzionati (P, GP, I e T) sono state prodotte delle mappe relative ai valori medi annui dell'intero periodo considerato (1877 – 2008) (Fig. 3).

Per ridurre il problema spazio-temporale della caratterizzazione delle modificazioni climatiche e degli effetti sulla ricorrenza di calamità idrogeologiche, sono stati definiti indici climatici sintetici, ciascuno dei quali costituisce una serie temporale (Polemio & Petrucci 2010). L'indice di piovosità mensile, bimestrale, e ... $IP_1(z)$, $IP_2(z)$, ..., $IP_m(z)$, con $m=1, 2, \dots, 12$, è definito dalla relazione:

$$IP_m(z) = \frac{\sum_{j=z-m}^z \sum_{i=1}^n PM_{i,j}(z)}{\sum_{j=z-m}^z \sum_{i=1}^n PMM_{i,j}(x)} 100 - 100 \quad (1)$$

in cui x è il mese dell'anno medio (da 1 a 12, a partire da settembre), z rappresenta il numero di posizione del mese considerato, iniziando da settembre del 1918, PM_i è la pioggia mensile alla stazione i e PMM_i è la pioggia mensile media della stazione i , con $i=1, 2, \dots, n$, dove n è il numero delle stazioni disponibili nel mese z . $IP_m(z)$ considera i valori di pioggia rilevati nel mese z e in $m-1$ mesi precedenti, dove m è la durata dell'indice considerato. Usando questo indice adimensionale, un'unica serie temporale di pioggia può essere considerata per l'intera area di studio. Sostituendo a P, G, I e T si ottengono analoghi indici per i restanti parametri; tali indici possono variare in un ampio intervallo di valori in cui i valori negativi indicano piovosità (temperatura, ...) inferiore alla media nell'intera area, mentre valori positivi indicano il contrario (per una discussione più approfondita degli indici si rimanda a Polemio & Petrucci 2010). Se $m=12$ l'indice diviene annuale e lo si denomina P_y , G_y , ...

IL DATABASE SUGLI EVENTI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO

La fonte principale dei dati riguardanti piene e frane che abbiano causato danni in Puglia è il database AVI (CNR-GNDICI 1999;

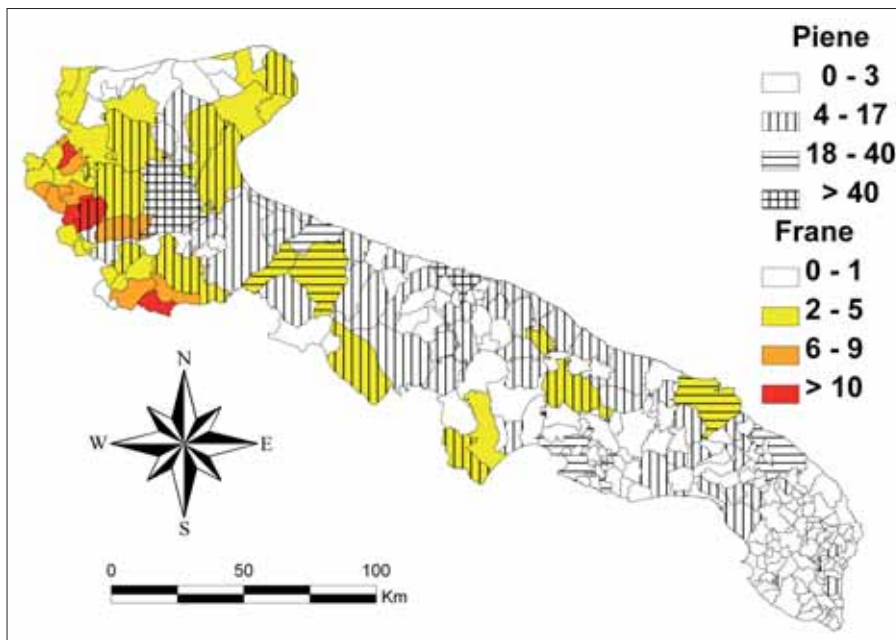


Figura 4 – Ricorrenza comunale di piene e frane (1918-2006).

Petrucci & Pasqua 2008), utilizzato per il periodo 1918-1996. Tale fonte è stata integrata per il periodo successivo, fino al 2006, attraverso la consultazione di quotidiani, pubblicazioni e relazioni tecniche in possesso dell'Istituto. Sul territorio pugliese sono stati individuati 926 eventi di piena e 237 di frana (il primo evento di frana è del 1928). Per ciascun comune sono state costituite le serie storiche mensili degli eventi di piena e di frana; per semplice somma sono state determinate le analoghe serie storiche regionali. Tali dati sono stati riportati in ambiente GIS ed è stato quindi possibile ottenere le mappe di distribuzione degli eventi (Fig. 4).

Analogamente a quanto fatto per i dati climatici, anche per le frane e le piene sono stati calcolati gli indici relativi a 1, 2, ... e 12 mesi, e quello relativo a ciascun anno idrologico (indice A_y per le piene o alluvioni e F_y per le frane).

Da un'analisi della mappa della distribuzione regionale degli eventi, si nota che gli eventi di piena sono diffusi su tutto il territorio, mentre i movimenti franosi sono localizzati soprattutto nella zona del Subappennino

dauno, dove le caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche favoriscono fenomeni di instabilità dei versanti.

ANALISI DEI DATI E CONCLUSIONI

Considerando l'anno idrologico medio, è stato tracciato il regime delle componenti climatiche e degli eventi di frane e piene (i valori relativi a questi ultimi sono stati amplificati per permettere un confronto più diretto con le altre variabili).

Nell'anno medio il picco delle piene si osserva a settembre (1,73 eventi), mentre tra settembre e novembre, quando le precipitazioni sono abbondanti e di maggiore intensità, si concentra il 50% del totale, pari a 10,4 piene dannose ogni anno (Fig. 5). Il picco della franosità si osserva a gennaio (0,2 eventi), subito dopo il mese di massima piovosità; da dicembre a febbraio si verifica il 61% del totale delle frane, in media pari a tre l'anno. Il massimo mensile di piene è di 29 eventi (settembre 2006); quello delle frane è 61, osservato a gennaio 2003. Per quanto riguarda gli indici climatici, risulta buona la correlazione nell'anno medio tra intensi-

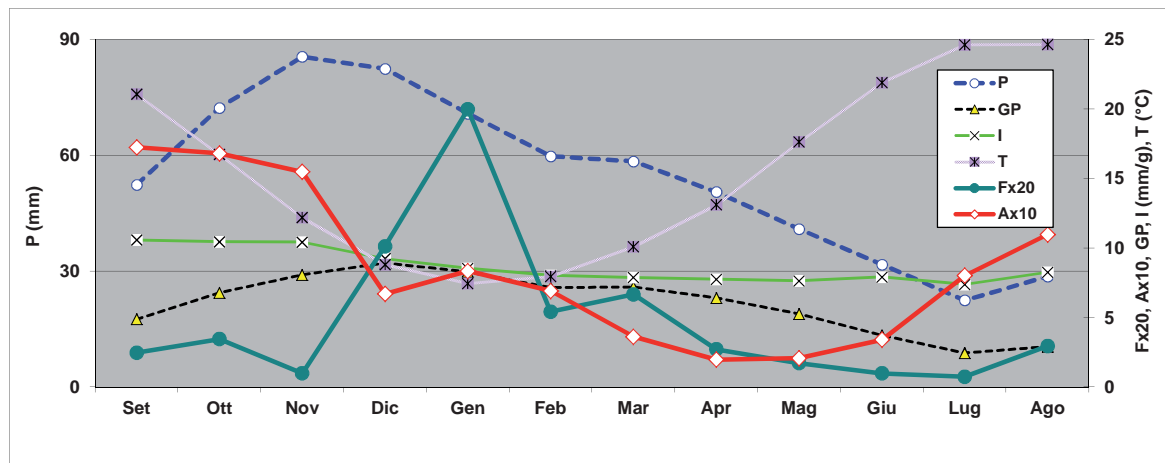


Figura 5 – Regime climatico e dei dissesti. P) Piovosità, GP) Giorni piovosi, I) Intensità di pioggia, T) Temperatura, F) Numero di frane e A) Numero di piene.

tà (massima a settembre), secondariamente piovosità, e piene.

In seguito è stato svolto uno studio statistico riguardante tutti i parametri considerati e si è notata una correlazione diretta

tra piogge, intensità, giorni piovosi e piene ed una correlazione di tipo indiretta o inverso nel caso della temperatura. Il massimo della correlazione si ottiene nel caso della piovosità (Tabella 1).

L'analisi, ripetuta per periodi cumulati fino a 5 anni, ha dato risultati poco variabili.

Per quanto riguarda le frane, la correlazione con gli indici climatici è risultata sempre diretta e in genere più bassa rispetto a quella osservata per le piene. Precedenti esperienze maturate per regioni meridionali a diffusa ed elevata franosità, mostrano che le variabili climatiche considerate sono in genere ben correlate con la ricorrenza delle frane (Polemio & Sdao 1996; Polemio & Petrucci 2010). Il tipo di risultato emerso per la Puglia dipende principalmente dal concentrarsi delle frane nella provincia di Foggia, in particolare nell'Appennino dauno, mentre gli indici climatici, per definizione, sono riferiti all'intero territorio regionale. Secondaria-

Tabella 1 – Coefficiente di correlazione tra gli indici annuali di piene (Ay), frane (Fy), precipitazioni (Py), giorni piovosi (Gy), intensità di pioggia (Iy) e temperatura (Ty)

CORRELAZIONE						
	Ay	Fy	Py	Gy	Iy	Ty
Ay	1,0					
Fy	0,1	1,0				
Py	0,4	0,1	1,0			
Gy	0,3	0,2	0,8	1,0		
Iy	0,2	-0,0	0,6	0,1	1,0	
Ty	-0,2	0,3	-0,0	-0,1	0,0	1,0

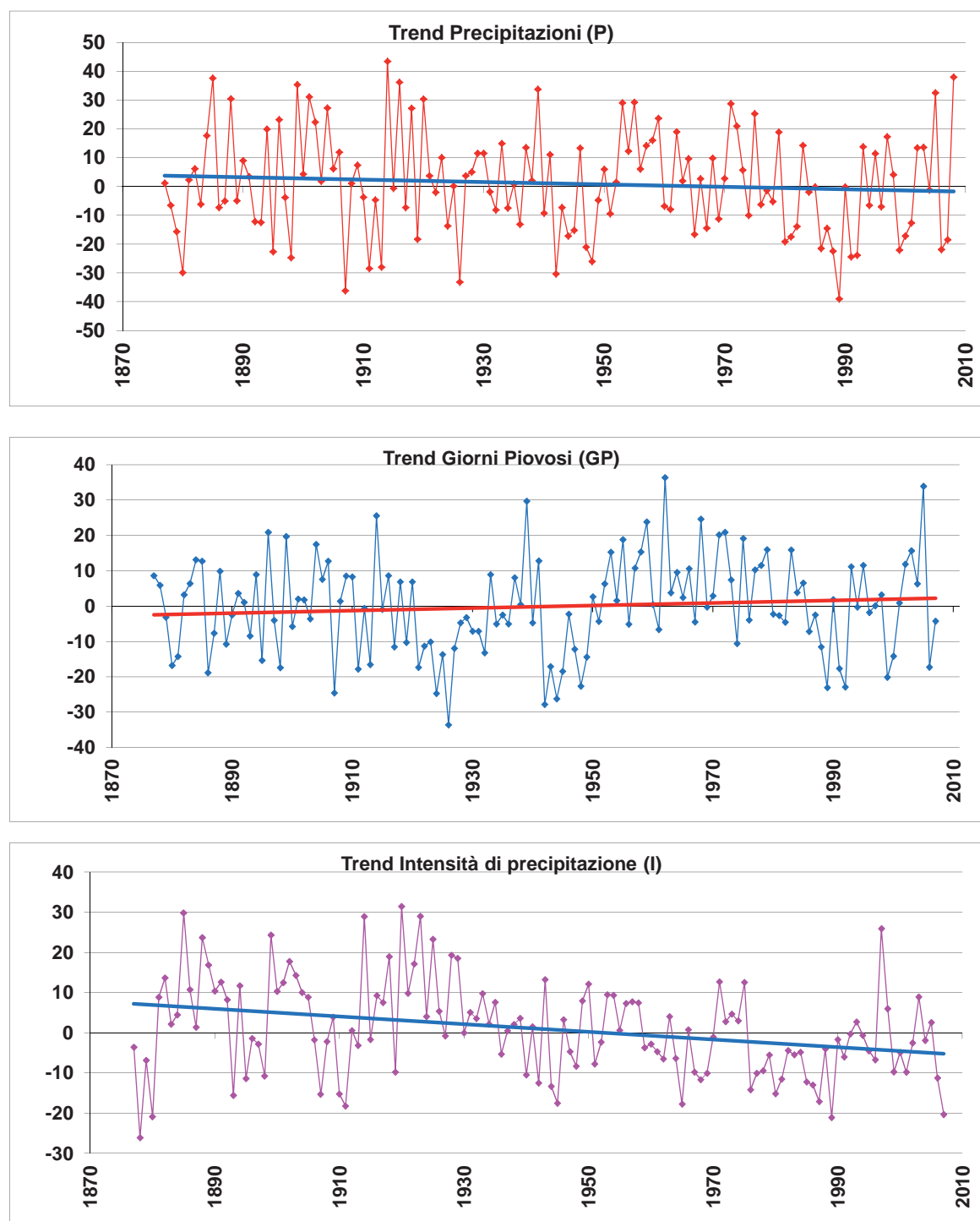


Figura 6 – Trend climatici relativi a: P, GP e I.

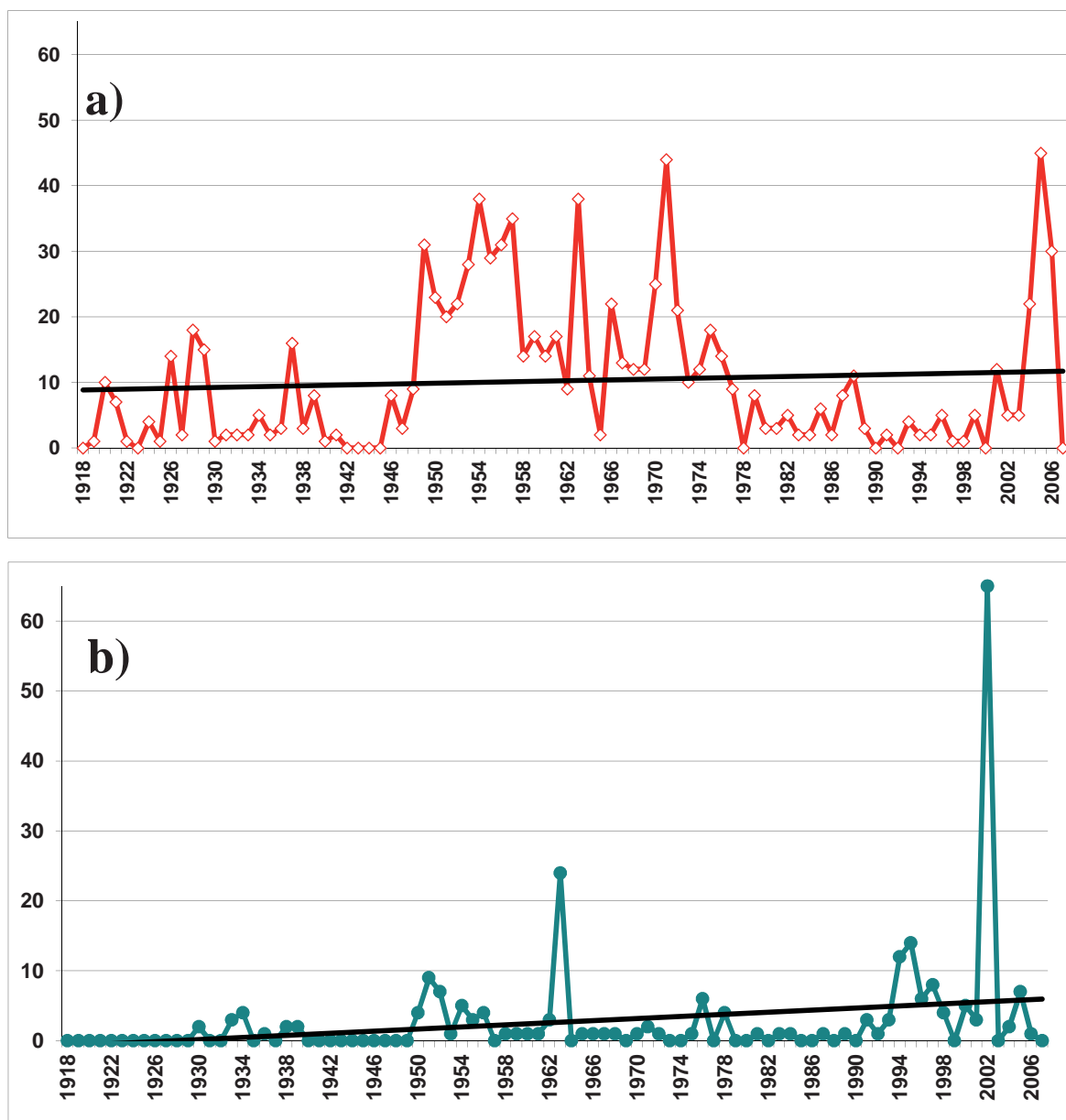


Figura 7 – Serie storiche e trend dell'occorrenza annuale di piene e frane. a) Piene, b) Frane.

mente, la natura marginale dei territori soggetti ad elevata pericolosità da frana rende molto difficile l'acquisizione di dati storici di sufficiente qualità sull'occorrenza di frane, se non per gli anni più recenti.

L'analisi dei trend temporali ha messo in evidenza una lenta tendenza alla diminuzione delle precipitazioni e della loro intensità e all'aumento dei giorni piovosi e delle temperature (Fig. 6), in accordo con quanto noto a scala globale e per l'Italia meridionale (EEA 2008; Polemio & Casarano 2008).

Il trend climatico, nel complesso, determina condizioni sfavorevoli per l'aumento della ricorrenza di piene e frane. Ciò nonostante i trend del numero annuale di eventi dannosi di piena e di frana sono positivi ovvero evidenziano una tendenza all'aumento di tali fenomeni (Fig. 7). I risultati mostrano quindi un ruolo tutt'altro che marginale svolto dall'uso del territorio, in cui il crescente utilizzo di aree a non trascurabile pericolosità idrogeologica non poco contribuisce alla mancata diminu-

zione della ricorrenza degli eventi di piena e di frana catastrofici.

BIBLIOGRAFIA

- CASNEDI R. (1988), *La Fossa bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 439-448.
- CNR-GNDCI (1999), *Database AVI degli eventi alluvionali occorsi su tutto il territorio nazionale dal 1930 al 1999*.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1973), *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Accademia Nazionale dei Lincei, 183, 49-72.
- EEA (2008), *Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment*. European Environment Agency Report, 4, http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4/, 2008.
- MINISTERO LL. PP. (1918), OSSERVAZIONI PLUVIOMETRICHE RACCOLTE A TUTTO L'ANNO 1915 DAL R. UFFICIO CENTRALE DI METEOROLOGIA E ORDINATE A CURA DEL PROF. FILIPPO EREDIA, Puglia.
- MINISTERO LL. PP. (1928), *Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915*. Pubbl. n.1 del Servizio Idrografico, Appendice al volume I,

Italia peninsulare e isole, ordinate a cura del Prof. Filippo Eredia.

- PETRUCCI O., PASQUA A. A. (2008), *The study of past damaging hydrogeological events for damage susceptibility zonation*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 881-892.
- POLEMIO M., CASARANO D. (2008), *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. In: *Climate Change and Groundwater*, DRAGONI, W., SUKHUJA, B.S., (Eds.), Geological Society, London, Special Publications, 288, 39-51.
- POLEMIO M., PETRUCCI O. (2010), *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43, 1-14.
- POLEMIO M., SDAO F. (1996), *Landslide hazard and critical rainfall in southern Italy*, VII Int. Symp. on landslides, Norway, Balkema, Rotterdam, 1996, 847-852.
- RICCHETTI G., CIARANI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F., PIERI, P. (1988), *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'avampese Apulo*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 57-82.
- SIMN (1919-1996), *Annali Idrologici*, Parte I. Sezione di Bari, Ministero dei Lavori Pubblici, Roma.

Analisi della tipologia di trasporto nei sistemi bacino-conoide della Campania

Primi risultati di un approccio multidisciplinare ai fini della pianificazione territoriale

1. INTRODUZIONE

Le conoidi alluvionali sono delle forme complesse (Hooke, 1967; Bull, 1968) che rappresentano il luogo di accumulo dei materiali mobilizzati dai bacini idrografici da parte dei corsi d'acqua. L'accrescimento di questi corpi si verifica in genere in occasione di piogge molto intense con il conseguente sviluppo di episodi alluvionali ad elevato carico solido e liquido, il cui potere distruttivo è fortemente correlato alla tipologia di trasporto e messa in posto del materiale. In letteratura è comune la distinzione dei due principali: *debris flow* e *water flood* (Jackson, 1987; Kellerhals & Church, 1990; Pasuto et alii, 1992; Sorriso-Valvo 1998; Blair & McPherson, 1999c; De Scally, et alii 2010), i quali rappresentano gli estremi di una serie di meccanismi intermedi la cui differenza si basa sulla concentrazione della componente solida e sul comportamento reologico (Costa, 1988). Allo stesso modo, le conoidi risultanti ed i relativi depositi presenteranno caratteristiche morfometriche e sedimentologiche differenti. Quelle alimentate prevalentemente da processi di *debris flow* sono piccole e molto pendenti, i depositi si presentano massivi, a struttura matrice-sostenuta con clasti dispersi senza un'organizzazione (Blair & Pherson, 1999b; Sorriso-Valvo 1998). Questi corpi possono presentare evidenze geomorfologiche sulla superficie topografica come lobi deposizionali (Marchi et alii, 1993; Wilford, 2004; De Scally et alii, 2004, 2010). Quelle interessate da processi tipo *water flood* presentano estensioni areali maggiori e bassi gradienti. I depositi sono costituiti da alternanze ritmiche di strati sub-orizzontali costituiti da ghiaie e sabbie (Blair & Pherson, 1999a; Sorriso Valvo et alii, 1998; Sohn et alii, 1999; Wilford et alii, 2004; De Scally & Owens, 2004; De Scally et alii, 2010).

L'identificazione delle conoidi interessate da trasporto di tipo *debris flow* risulta fondamentale ai fini della pianificazione territoriale, in quanto questi processi sono molto più distruttivi, presentano magnitudo maggiori e richiedono interventi di mitigazione particolari (Aulitzky, 1990; Jackson, 1987; Kellerhals & Church, 1990; De Scally & Owens, 2004, 2010; Wilford et alii, 2004). Numerosi lavori scientifici hanno dimostrato che esiste un controllo delle variabili morfometriche del si-

stema bacino-conoide sulla tipologia di trasporto prevalente (Melton, 1965; Ryder, 1971; Kostaschuck, 1986; Jackson, 1987; Pasuto et alii, 1992; Marchi et alii, 1993; D'agostino, 1996; Calvache et alii, 1997; Guzzetti et alii, 1997; Sorriso-Valvo et alii, 1998; Wilford et alii, 2004; Crosta & Frattini, 2004; De Scally & Owens, 2004; De Scally et alii, 2010; Santangelo et alii, 2006; Welsh & Davies, 2010).

Questo studio si pone l'obiettivo di effettuare una caratterizzazione a scala regionale, della tipologia di trasporto prevalente nei principali sistemi bacino-conoide presenti in Campania, tramite l'integrazione di analisi di campo e di metodi di statistica multivariata sui principali parametri morfometrici. A differenza dell'area di analisi, articoli simili, sono già stati pubblicati per diversi settori del Nord Italia (Pasuto et alii, 1992; Marchi et alii, 1993; D'Agostino, 1996; Guzzetti et alii, 1997; Crosta & Frattini, 2004) e della Calabria (Sorriso-Valvo et alii, 1998).

2. AREA DI STUDIO

Sono stati analizzati 99 sistemi bacino-conoide, che si distribuiscono su tutto il territorio campano (fig.1). In particolare le conoidi compongono le principali fasce pedemontane (fascia SW dei monti del Matese, Monti del Taburno, Monti Picentini, Monti di Caserta e Monti della Maddalena) i cui bacini si impostano su un substrato carbonatico (calcari e dolomie). Nelle aree dei monti di Caserta e Picentini, i versanti calcarei sono inoltre mantellati da spessori variabili di depositi piroclastici derivati dalle eruzioni del complesso Somma-Vesuvio. L'attività di molte di queste conoidi in passato ha arrecato danni e vittime, come testimoniato dalla cronaca storica (Caiazza, 2002) e da alcuni articoli scientifici (Budetta et alii, 2000; Santangelo et alii, 2006). Ciò nonostante a partire dal secondo dopoguerra, sono state interessate da un intenso processo di urbanizzazione, ed in molti casi le naturali vie di drenaggio sono

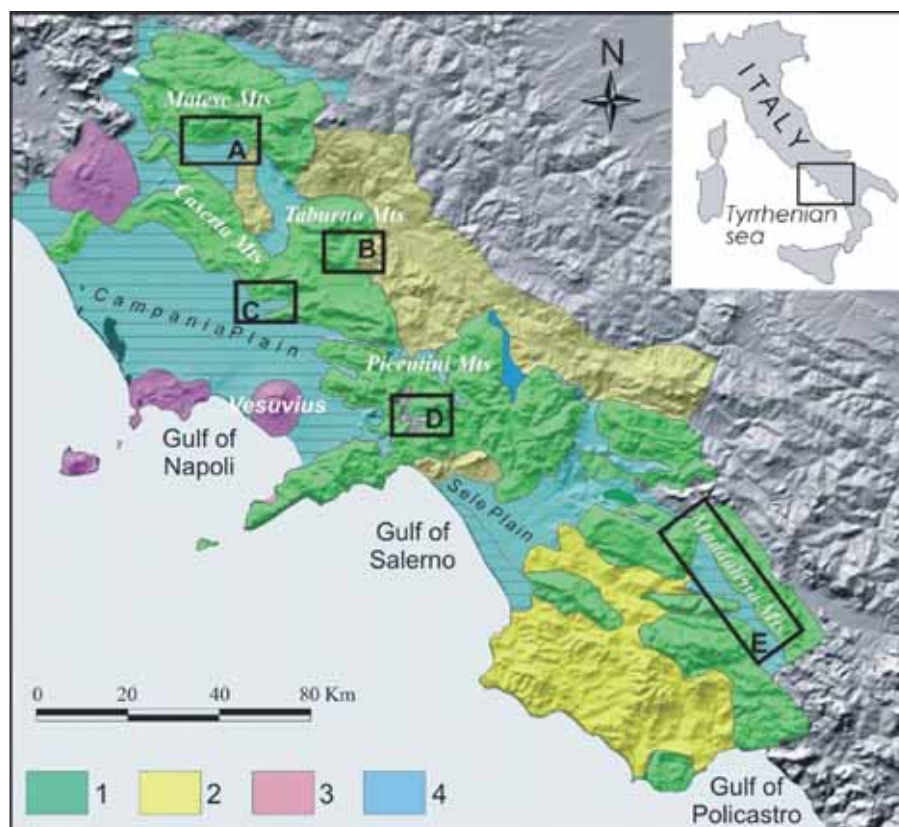


Figura 1— Inquadramento geografico e geologico. A) Monti del Matese; B) Monti del Taburno; C) Monti di Caserta; D) Monti Picentini; E) Monti della Maddalena. 1) Massicci carbonatici del Mesozoico. 2) depositi terrigeni del Miocene. 3) Aree vulcaniche del Quaternario. 4) bacini intramontani del Quaternario. 5) Piane costiere del Quaternario.

state cancellate o convertite in "alvei-strada" ad uso del traffico veicolare.

3. MATERIALI E METODI

È stata eseguita una campagna di rilevamento finalizzata sia al riconoscimento della principale tipologia di trasporto nei 99 corpi di conoide, a partire da affioramenti naturali o antropici, sia all'individuazione della presenza di indizi geomorfologici di debris flow come lobi deposizionali. La tipologia di trasporto è stata attribuita con certezza dall'analisi di campo per 46 conoidi, per le restanti 53, le condizioni di alta antropizzazione non ha permesso il rinvenimento di un numero di affioramenti tali da permetterne un'interpretazione univoca.

Le conoidi interessate da processi tipo debris flow sono state nominate e verranno indicate da qui in avanti come tipo I, mentre quelle da water flood come tipo II. In quest'ultima tipologia sono state incluse sia quelle da processi fluviali propriamente detti, sia quelle messe in posto da processi iperconcentrati (Costa, 1988; De Scally et alii, 2001; Wilford et alii, 2004; Pierson, 2005; Saito & Oguchi, 2005; De Scally et alii, 2010), in quanto le evidenze geomorfologiche e sedimentarie non sempre permettono la discriminazione dei due processi. Tramite l'utilizzo di basi topografiche e foto aeree multi-temporali e multi-scalari sono stati mappati i bacini ed i corpi di conoide, per i quali in seguito sono stati valutati, in ambiente GIS, i principali parametri morfometrici.

A tale scopo, sono stati elaborati dei DTM con risoluzione di 5m per pixel, a partire da carte topografiche in scala 1:5000. I parametri morfometrici calcolati sono: *area bacino* (Ab) valutata come area del bacino idrografico misurato dalle carte topografiche 1:5000; *lunghezza bacino* (Lb) misurata come la lunghezza della linea che congiunge il punto più distante con quello a quota minima del bacino (Wilford et alii, 2004); *pendenza media bacino* (ib) misurato tramite le funzioni di Spatial Analyst come pendenza media del poligono che iscrive il bacino idrografico; *lunghezza del canale principale nel bacino idrografico* (L); *pendenza media del canale principale* (iL) misurata tramite le funzioni di Spatial Analyst; *rilievo* (Rb) ovvero il dislivello tra la quota massima e quella minima del bacino; *area conoide* (Af); *pendenza media della conoide* (If); *indice di Melton* (R) calcolato come il rapporto tra il rilievo e la radice quadrata dell'area del bacino (Melton, 1965). Le variabili che hanno mostrato una distribuzione asimmetrica (Ab, Af, Lb; Lf, L) sono state trasformate in logaritmi al fine di raggiungere la normalità della distribuzione. Queste infatti presentano una prevalenza di individui con aree e lunghezze minori al km rispetto a quelle con dimensioni maggiori. In seguito tutte le variabili sono state standardizzate per rendere confrontabili le unità di misura differenti (angoli, km e km²).

Le elaborazioni statistiche sono state effettuate tramite il programma "Erre", in particolare sono state eseguite l'analisi discriminante di Fisher e l'analisi delle Componenti Principali.

L'analisi discriminante è un metodo di analisi statistica multivariata che permette di assegnare degli individui, ad uno di più gruppi. In questo lavoro è stata utilizzata per attribuire la tipologia di trasporto più probabile alle conoidi non classificate in campagna, sulla base del confronto con i parametri morfometrici delle conoidi alle quali era stata riconosciuta una tipologia di trasporto certa. La PCA è una metodologia statistica per la riduzione delle dimensioni dei data set, utilizzata per rappresentare le osservazioni in funzione di un numero ridotto di variabili anziché di quelle originarie, al fine di migliorarne l'interpretabilità dei dati. Se le variabili, infatti risultano correlate tra loro, possono essere sostituite da un nuovo insieme, chiamato

componenti principali, ottenute come combinazioni lineari di quelle di partenza. In questo lavoro è stata utilizzata allo scopo di analizzare le relazioni intercorrenti tra le variabili.

4.1. RISULTATI: ANALISI DI CAMPO

Sono state eseguite analisi stratigrafiche finalizzate a definire la tipologia di trasporto prevalente. Le facies attribuite alla tipologia I per le aree dei monti del Matese e della Maddalena sono costituite da depositi con struttura caotica matrice-sostenuta, nella quale sono dispersi clasti di natura calcarea di dimensioni da centimetriche a decimetriche. Talora si rinvencono facies caotiche clasto-sostenute. In generale i clasti presentano angoli a spigoli vivi o smussati. Le dimensioni massime dell'asse b raggiungono gli 80cm. Per le aree caratterizzate dalla presenza di materiali piroclastici, alle facies caotiche sia clasto-sostenute che matrice-sostenute costituite da clasti calcarei immersi in una matrice piroclastica, si alternano livelli di piroclastiti rimaneggiate e dallo spessore variabile da pochi decimetri al metro. La dimensione massima dei clasti varia dai 20 cm a 50cm. Le facies tipiche della tipologia II sono costituite da alternanze di livelli sabbiosi e ghiaiosi, con struttura clasto-sostenuta. La stratificazione in generale è parallela e leggermente inclinata verso valle. Talora i clasti possono presentare un fabric embriato. Le dimensioni massime dell'asse b dei clasti raggiungono i 40-50 cm. Sulla base delle caratteristiche di campo delle 46 conoidi classificate, 29 conoidi appartengono al tipo I e a 17 al tipo II.

4.2. RISULTATI: ANALISI STATISTICHE (ANALISI DISCRIMINANTE E ANALISI DELLE PCA)

È stata elaborata l'analisi discriminante di Fisher considerando, le 46 conoidi classificate in campo divise in tipo I e tipo II. Questa

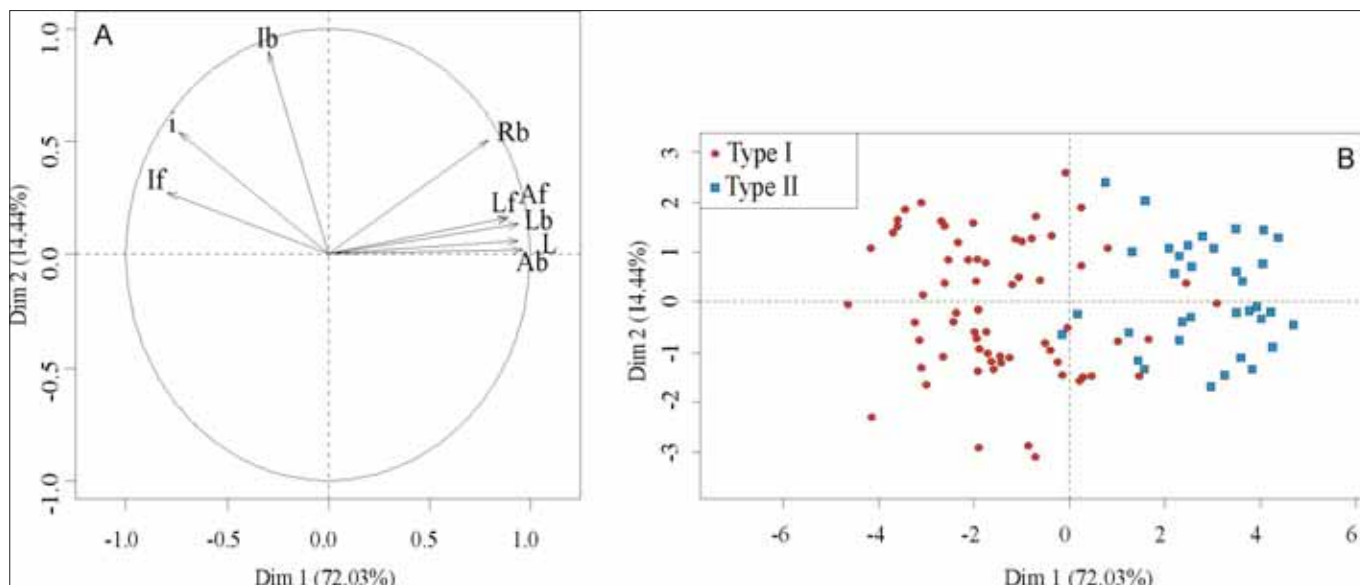


Figura 2 – 2A biplot delle relazioni tra le variabili. 2B proiezione gli individui sul biplot.

procedura ha permesso di calcolare un'equazione discriminante e di valutare quali variabili partecipano meglio al processo di differenziazione e di attribuzione della tipologia di trasporto. L'equazione discriminante risulta essere:

$$L_2(x) = -114.74 - 0.34 * iL + 17.24 * \log(Lf)$$

In essa, la lunghezza della conoide (Lf) e la pendenza media dell'asta principale (iL) nel bacino, risultano i parametri maggiormente discriminanti. Considerando un nuovo sistema bacino-conoide, valori dell'equazione inferiori allo zero indicano un trasporto di tipo I, valori superiori di tipo II. È stata quindi applicata alle restanti 53 conoidi non classificate in campo rinvenendo che 35 appartengono al tipo I e 18 al tipo II. Le probabilità di attribuzione ai due gruppi è risulta molto elevata in quanto maggiore del 90% (in molti casi pari a circa il 99%).

Alle 99 conoidi divise per tipologia di trasporto, è stata applicata la PCA. Per esse, le variabili analizzate possono essere spiegate da due componenti principali che rappresentano 72% (prima componente) ed il 14% (seconda componente) della varianza (fig.2). In particolare la prima componente principale presenta una correlazione positiva con le dimensioni del bacino, della conoide e dell'asta principale nel bacino ($\log Ab$, $\log Af$, $\log Lb$, $\log Lf$, $\log L$), mentre presenta una correlazione negativa con le pendenze, in particolare con la pendenza della conoide e dell'asta principale (fig.2a). Questa relazione indica la tendenza per i bacini e le conoidi grandi a presentare gradienti bassi. La seconda componente principale è principalmente correlata alla pendenza del bacino, la

quale però non presenta nessuna particolare correlazione con le altre variabili. La figura 2b riporta le conoidi di tipo I e II proiettate sul grafico della PCA, si nota come gli individui appartenenti alla tipologia I sono correlati con le alte pendenze della conoide e di conseguenza presentano aree e lunghezze poco estese, al contrario quelli appartenenti al gruppo II sono positivamente correlati alle dimensioni e presentano pendenze della conoide inferiori.

5. DISCUSSIONE

L'individuazione della tipologia di trasporto prevalente per un sistema bacino conoide è un elemento fondamentale per la definizione della pericolosità alluvionale nella conoide. È noto infatti che i fenomeni da debris flow possono essere più dannosi, data la loro elevata repentinità e capacità distruttiva. In bibliografia a partire dagli anni sessanta si sono diffusi vari metodi che giungono ad una classificazione a partire dalle caratteristiche morfometriche del sistema bacino-conoide (Melton, 1965; Jackson, 1987; Wilford et alii, 2004; Welsh & Davies, 2010). In questo studio è stata valutata la tipologia di trasporto per le 99 conoidi presenti nel territorio campano, sulla base di analisi di campo e di alcune elaborazioni di statistica multivariata. Le analisi statistiche confermano una forte differenza nelle dimensioni tra i sistemi a diversa tipologia di trasporto. In particolare quelli di tipo I, presentano aree sia del bacino che della conoide in media inferiori ad un km², mentre i gradienti delle conoidi risultano i più elevati (fino a 10° di valore medio) (Tab. 1). Quelli interessati da processi di tipo II invece si presentano più estesi e le conoidi sono caratterizzate da gradienti minori (4°-5° di media) (Tab. 1).

In totale si evidenzia una prevalenza delle conoidi caratterizzate da un trasporto di tipo

I che rappresentano circa il 64% del campione analizzato, contro il 36% della tipologia II. La distribuzione spaziale dei gruppi non è uniforme sul territorio campano, ma si assiste ad una predominanza del trasporto di tipo fluviale per le aree dei Monti del Matese e della Maddalena (80%) e di fenomeni tipo I per le aree dei Monti di Caserta e per i Monti Picentini, (circa 85%). Per queste ultime quindi, la probabilità di accadimento di processi da debris flow risulta essere molto elevata e di conseguenza possono essere ritenute mediamente più critiche.

Le differenze più evidenti tra i sistemi bacino-conoide appartenenti alle varie aree geografiche analizzate sono rappresentate dalle dimensioni, infatti i bacini e le conoidi dei Monti del Matese e della Maddalena sono mediamente più estesi. Questa caratteristica dipende da fattori geologici e strutturali, in quanto le dorsali in cui si impostano ricoprono una superficie maggiore, mentre quelle delle aree dei monti di Caserta e Picentini risultano essere meno ampie.

L'analisi discriminante ha individuato la lunghezza della conoide e la pendenza media dell'asta principale nel bacino come variabili maggiormente discriminanti. Il primo parametro può essere ritenuto un surrogato della pendenza della conoide (De Scally & Owens, 2004), infatti a parità di dislivelli tra apice e piede, le conoidi più lunghe presenteranno pendenze minori; il secondo è legato all'indice di Melton e dell'area del bacino (De Scally & Owens, 2004), poiché all'aumentare di quest'ultima, il corso d'acqua presenterà una maggiore densità di tratti a minore pendenza insufficienti a trasportare un debris flow. In riferimento a diversi autori (Melton, 1965; Kostaschuk et alii, 1987; Pasuto et alii, 1992; De Scally & Owens, 2004) è

Tabella 1 – Statistica descrittiva delle caratteristiche morfometriche dei sistemi bacino-conoide a diversa tipologia di trasporto prevalente

Variabile	Tipo	Mediana	Media	Minimo	Massimo	Deviazione standard	Asimmetria	Curtosi
Ab (km ²)	Type I	0.22	0.36	0.04	2.56	0.38	+3.55	+18.23
	Type II	2.30	2.81	0.27	11.68	2.21	+2.15	+6.54
Lb (km)	Type I	0.96	1.07	0.58	2.93	0.41	+1.90	+5.79
	Type II	2.95	2.84	0.79	5.50	1.10	+0.12	-0.22
Ib (°)	Type I	29.43	28.75	18.80	37.69	5.13	-0.08	-1.14
	Type II	26.54	26.68	18.41	37.55	4.51	+0.41	-0.03
L (°)	Type I	0.84	0.90	0.21	3.59	0.51	+2.46	+11.31
	Type II	3.09	3.15	0.76	0.75	1.44	+0.41	-0.10
IL (°)	Type I	25.34	25.35	13.35	34.74	4.89	-0.29	-0.37
	Type II	16.74	17.56	10.26	27.41	4.09	+0.72	+0.05
Br (km)	Type I	0.47	0.50	0.20	0.81	0.16	+0.55	+0.53
	Type II	0.82	0.79	0.42	1.23	0.19	-0.05	+0.08
Ac (km ²)	Type I	0.32	0.39	0.08	1.15	0.24	+1.26	+1.03
	Type II	1.19	1.63	0.09	6.06	1.55	+1.43	+1.45
Lf (km)	Type I	0.45	0.50	0.12	1.27	0.26	+0.82	+0.14
	Type II	2.07	2.11	0.78	3.94	0.95	+0.36	-1.05
Ic (°)	Type I	8.75	9.52	5.14	19.24	3.12	+0.70	+0.01
	Type II	5.08	5.56	1.64	7.25	1.60	-0.80	-0.36
R (km/km)	Type I	1.01	1.0	0.36	1.82	0.36	+0.23	-0.82
	Type II	0.51	0.55	0.28	0.95	0.17	+0.51	-0.33

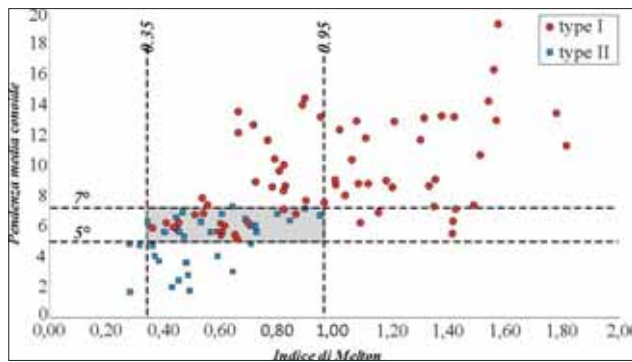


Figura 3 – grafico indice di melton, pendenza media della conoide.

stata analizzata la relazione tra l'indice di Melton (Melton, 1965) e la pendenza della conoide (Fig. 3). Analizzandolo si nota una distinzione abbastanza buona tra le i due gruppi, e la presenza di un'area di sovrapposizione posta nella parte centrale (evidenziata in grigio). In generale è possibile definire dei valori soglia di passaggio tra le diverse tipologie di trasporto: per valori dell'indice di Melton inferiori di 0.35 e pendenze media della conoide minori di 5° si rinviengono solo sistemi interessati da processi di tipo fluviale, per valori dell'indice di Melton maggiori di 0.95 e pendenze della conoide maggiori di 7° solo sistemi con trasporto da *debris flow*. Nella fascia intermedia, si possono trovare entrambe le tipologie, questa sovrapposizione viene spiegata in quanto per rendere possibile l'analisi statistica i sistemi analizzati sono stati divisi in due gruppi, nonostante siano stati riconosciuti una serie di fenomeni intermedi, che com'è noto non rendono netto il passaggio tra i due meccanismi di trasporto estremi.

Ai fini della pianificazione di territori molto ampi, procedimenti simili possono essere utilizzati come strumenti di sintesi che permettono l'immediata identificazione delle aree per le quali si devono apportare maggiori accorgimenti.

6- CONCLUSIONI

L'analisi a scala regionale effettuata al fine di individuare i contesti geografici e i sistemi bacino-conoide più suscettibili a processi di trasporto da *debris flow*, ha visto lo svolgimento di una fase iniziale di campo e di una seconda fase di elaborazione in ambiente GIS e con metodologie statistiche. I principali risultati raggiunti possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- 1 L'analisi discriminata si è rilevata un metodo veritiero e veloce per l'individuazione della tipologia di trasporto (probabilità di corretta classificazione maggiore del 90%).
- 2 La PCA ha indicato che i sistemi bacino conoide appartenenti alla tipologia I presentano pendenze della conoide più elevate, mentre quelli appartenenti alla tipologia II si caratterizzano per estensioni areali maggiori.
- 3 L'analisi della relazione tra la pendenza della conoide e l'indice di Melton ha permesso di definire delle soglie tra le tipolo-

logie di trasporto. In particolare: indici di Melton maggiori di 0.95 e pendenze medie della conoide maggiori di 7° sono tipiche di *debris flow*; mentre indici di Melton minori di 0.35 e pendenze medie della conoide minori di 5° sono indicativi di processi da trasporto fluviale.

In conclusione questo studio ha rappresentato un primo strumento per la pianificazione territoriale in quanto ha evidenziato le conoidi del territorio campano suscettibili a fenomeni da *debris flow* e per le quali effettuare analisi di maggiore dettaglio.

BIBLIOGRAFIA

- AULITZKY H. (1980). *Preliminary two-fold classification of torrent*. Proceedings international symposium interpraevent, Bad Ischl 4: 285-309.
- BLAIR T. C. (1999a), *Sedimentary processes and facies of the waterlaid Anvil Spring Canyon alluvial fan, Death Valley, California*. Sedimentology 46: 913-940.
- BLAIR T. C. (1999b), *Sedimentary of the debris-flow-dominated warm Spring Canyon alluvial fan, Death Valley, California*. Sedimentology 46: 941-965.
- BLAIR T.C., McPHERSON J.G. (1999c), *Cause of Dominance by Sheetflood vs. Debris-Flow Processes on two Adjoining Alluvial Fans, Death Valley, California*. Sedimentology 46: 1015-1028.
- BUDETTA P., SANTANGELO N., SANTO A. (2000), *Interazioni tra processi alluvionali ed insediamenti abitativi in epoca storica: il caso della certosa di Padula*. Convegno geoben 2000, torino 7-9 giugno: 41-48.
- BULL W.B. (1968), *Alluvial Fans*. Journal of geology 16: 101-106.
- CAIAZZA D. (2002), *I torrenti assassini del matese meridionale*. Atti del convegno di studi sulle alluvioni catastrofiche recenti negli insediamenti urbani: il rischio e la prevenzione dopo il disastro di Sarno. Piedimonte Matese, 31 ottobre 1998. Editore dal comune di alife.
- CALVACHE M.L., VISERAS C., FERNÁNDEZ J. (1997), *Controls on fan development-evidence from fan morphometry and sedimentology*, Sierra Nevada, Se Spain. Geomorphology 21, 69-84.
- Costa J.E. (1988). Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, C. (eds.), *Flood geomorphology*. Wiley, New York, pp. 113-122.
- Crosta G.B., Frattini P. (2004). Controls on modern alluvial fan processes in the central alps, northern Italy. *Earth surface and landforms* 29: 267-293.
- D'AGOSTINO V. (1996). *Analisi quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio nei bacini montani del Trentino orientale*. Estratto da: Associazione Italiana di Ingegneria Agraria 1° sezione, Convegno di studio, I problemi dei grandi comprensori irrigui, Novara 6-7 giugno 1996.
- DE SCALLY F.A., OWENS I.F. (2004), *Morphometric Controls and Geomorphic Responses on Fans in the Southern Alps, New Zealand*. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 311-322.
- DE SCALLY F.A., OWENS I.F., LOUIS J., 2010. *Controls on Fan-depositional Processes in the Schist Ranges of the Southern Alps, New Zealand, and Implications for Debris-Flow Hazard Assessment*. *Geomorphology* 122, 99-116.
- GUZZETTI F., MARCHETTI M., REICHENBACH P. (1997). *Large Alluvial Fans In The North-Central Po Plain (Northern Italy)*. *Geomorphology* 18: 119-136.
- HOOKE R. (1967). *Processes On Arid Region Alluvial Fans*. *Journal Of Geology* 75: 438-460.
- JACKSON JR.L.E., (1987). *Debris Flow Hazard In The Canadian Rocky Mountains*. Paper 86-11. Geological Survey Of Canada, Ottawa, On, Canada.
- KELLERHALS R., CHURCH M. (1990). *Hazard Management On Fans, With Examples From British Columbia*. In RACHOCKI A.H., CHURCH M., *Alluvial Fans, A Field Approach*, New York, Wiley: 335-354.
- KOSTASCHUK R.A., MAC DONALD G.M., PUTMAN P.E. (1986). *Depositional Processes and Alluvial Fan-Drainage Basin Morphometric Relationship Near Banff, Alberta, Canada*. *Earth Surface Processes And Landforms* 11: 471-484.
- MARCHI L., PASUTO A., TECCA P.R. (1993). *Flow Processes On Alluvial Fans In The Eastern Italian Alps*. *Z. Geomorph.* 4: 447-458.
- MELTON M.A. 1965. *The Geomorphic And Paleoclimatic Significance Of Alluvial Deposits In Southern Arizona*. *Journal Of Geology* 73: 1-39.
- PASUTO A., MARCHI L., TECCA P.R. (1992). *Tipologia del trasporto solido torrentizio su conoidi alluvionali nell'Alto bacino dell'Avisio (Dolomiti)*. *Bollettino Società Geologica Italiana* 111: 41-51.
- PIERSON, T.C. (2005). *Hyperconcentrated Flow - Transitional Process Between Water Flow And Debris Flow*. In: JAKOB, M., HUNGR, O. (Eds.), *Debris-Flow Hazards And Related Phenomena*. Springer, Berlin, pp. 159-202.
- RYDER J.M. (1971). *Some Aspects of Morphometry of Paraglacial Alluvial Fans in South-Central British Columbia*. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8 :1252-1264.
- SANTANGELO N., SANTO A., FAILLACE P. (2006), *Valutazione della pericolosità alluvionale delle conoidi del Vallo di Diano (Salerno, Italia meridionale)*. *Il quaternario* 19: 3-17.
- SAITO K., OGUCHI T., (2005). *Slope of Alluvial Fans in Humid Regions of Japan, Taiwan and the Philippines*. *Geomorphology* 70, 147-162.
- SOHN Y.K., RHEE C.W., KIM B.C. (1999), *Debris Flow and Hyperconcentrated Flood-Flow Deposits in an Alluvial Fan, Northwestern Part of the Cretaceous Yongdong Basin, Central Korea*. *The Journal of Geology* 107: 111-132.
- SORRISO-VALVO M., ANTRONICO L., LE PERA E., (1998). *Controls on Modern Fan Morphology in Calabria, Southern Italy*. *Geomorphology* 24, 169-187.
- WELSH A., DAVIES I.T. (2010), *Identification of Alluvial Fans Susceptible to Debris-Flow Hazards*. *Landslides* doi 10.1007/S10346-010-0238-4
- WILFORD D.J., SAKALS M.E., INNES J.L., SIDLE R.C., BERGERUD W.A. (2004), *Recognition of Debris Flow, Debris Flood and Flood Hazard Through Watershed Morphometrics*. *Landslides* 1: 61-66.

Modificazioni geoambientali (naturali e antropogeniche) e rischio costiero nella Baia di Sapri (Cilento)

FRANCESCO CORTESE
Dottore in Coordinamento Attività di Protezione Civile, UNIPG
e-mail: fcortez@libero.it

ROMEO MARIANO TOCCACELI
Geologo Libero Professionista
e-mail: rmtocceli@tiscali.it

INTRODUZIONE

Tra i numerosi avvenimenti di carattere geomorfologico che hanno contrassegnato nel corso degli ultimi decenni la storia evolutiva della nostra penisola, i fenomeni di erosione, più o meno accelerata, dei litorali, hanno riproposto all'attenzione di studiosi, amministratori e cittadini il problema delle modificazioni geoambientali, sia naturali che antropogeniche, delle aree di pianura costiera, e della relativa interazione con lo sviluppo antropico. La fascia costiera può essere definita come l'elemento di interazione tra mare e terra, e può essere considerata come una risorsa non solo dal punto di vista ambientale, ma anche da quello sociale ed economico. La valutazione del rischio costiero, sistema complesso ad alta dinamicità geomorfologica, sia in termini di erosione costiera che in termini di sottrazione di costa per fini urbanizzativi è diventata pertanto, negli ultimi decenni, di fondamentale importanza nelle politiche ambientali e di protezione civile. Ciò si deve soprattutto allo sfruttamento intensivo delle aree costiere, sottoposte ad un progressivo aumento della popolazione residente e non, che ha determinato una crescente concentrazione di attività divenute via via sempre più importanti dal punto di vista socioeconomico.

1. RIASSUNTO

Le ricerche condotte sulla baia di Sapri, che per le sue caratteristiche fisiografiche, geomorfologiche ed idrodinamiche, si configura come una piccola pianura costiera delimitate verso mare da una spiaggia sabbioso-ghiaiosa del tipo *pocket beach*, hanno consentito di ricostruire le principali tappe delle modificazioni geoambientali e della linea di costa a partire dall'epoca romana evidenziando, quindi, le tendenze in atto legate soprattutto alla interferenza antropica. L'ambiente costiero è stato così analizzato nei suoi principali aspetti geologici e territoriali, geomorfologici ed evolutivi, ed in particolare quest'ultimi, attraverso ricerche ed analisi documentali e fotografiche, utilizzo di dati geognostici e geoarcheologici, pervenendo alla descrizione della sua modificabilità fisica connessa ai fenomeni di alluvionamento

ed erosione costiera (Tocaceli, 1995). Sono stati, quindi, utilizzati i principali strumenti propri dell'analisi geomorfologica consentendo di applicare il concetto di rischio geoambientale alle problematiche delle aree costiere antropizzate con particolare riguardo alla erosione del litorale. In generale, quindi, le problematiche evidenziate per la baia di Sapri, costituiscono un esempio particolarmente significativo nell'ottica della strategica importanza ambientale, sociale ed economica dei litorali, le cui modificazioni sono, tra l'altro, connesse, sia a scala locale che regionale, alle recenti variazioni climatiche e del livello del mare (Tocaceli, 1993; 1995; Ortolani & Pagliuca, 1999; Antonioli & Silenzi, 2007; Toseroni, 2009).

2. L'IMPORTANZA AMBIENTALE ED ECONOMICA DEI LITORALI

L'ambiente costiero rappresenta la fascia di transizione tra le terre emerse ed il mare. Si tratta di una risorsa naturale ed economica di straordinario valore, sottoposta ad una continua ed incessante trasformazione sotto l'azione di fattori climatici e della dinamica interna ed esogena del nostro pianeta. In particolare, il processo più significativo ed evidente nella evoluzione della fascia costiera, soprattutto il relazione alle attività umane, è rappresentato dalla "dinamica costiera", intendendo quel complesso di fenomeni che ne governano l'evoluzione nel tempo. In un simile contesto, qualsiasi intervento antropico realizzato lungo il litorale introduce una variazione della naturale dinamica litoranea e interferisce con il regime di trasporto dei

sedimenti. A tale proposito, Ortolani e Pagliuca (1999), con riferimento alla Campania, evidenziano quelle che sono, nel complesso, le peculiarità ambientali dei litorali e le importanti ricadute economiche. Gli Autori confermano l'alto e apprezzato valore ambientale della fascia costiera, per l'incomparabile varietà di paesaggi che si susseguono dalle coste rocciose ai litorali sabbiosi. Come ad esempio, le ampie pianure alluvionali dei fiumi Garigliano-Volturno, Sarno, Sele, Alento, Mingardo e Bussento e le spiagge minori (*pocket beach*) che caratterizzano le coste alte dei Campi Flegrei, di Ischia, Procida e Capri, del litorale vesuviano, della Penisola Sorrentino-Amalfitana, i litorali e le *pocket beach* del Cilento. I litorali campani, come quasi tutte le coste italiane, sono interessati da circa 50 anni da una attiva erosione che sta determinando i presupposti di irreversibile degrado ambientale e produttivo delle spiagge, delle dune pinetate e delle pianure bonificate ad alto reddito agricolo. In alcune aree l'erosione mette in crisi varie strutture turistiche, infrastrutture e abitazioni e rende impraticabili litorali di rinomata importanza. Già dall'inizio del secolo scorso è terminata la marcata *progradazione* della spiaggia verso mare e si è invertita la tendenza per cui attualmente il litorale risulta interessato da un'attiva erosione con valori prossimi, mediamente, a circa 1,5-2 m l'anno. La grave erosione, nel contesto attuale, determina la scomparsa di diverse decine di migliaia di metri quadri all'anno e una perdita per l'economia locale di alcune decine di milioni di euro ogni anno. Risulta evidente, quindi, l'en-



Figura 1—Inquadramento territoriale dell'area studiata.

tità del rischio delle aree costiere, attraverso il diretto rapporto tra la spiaggia, come risorsa ambientale, e l'economia dei territori costieri suscettibili di modificazioni sia naturali che antropogeniche.

3. LA BAIÀ DI SAPRI: GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGRAFIA

La piccola baia di Sapri è inserita in un ampio contesto fisiografico costiero definito dal Golfo di Policastro (Fig. 1); le caratteristiche geomorfologiche e sedimentologiche, nonché evolutive, della piana consentono di identificarla come una classica "pocket beach".

Il Golfo di Policastro è ubicato sul margine tirrenico meridionale, in corrispondenza di un marcato restringimento della catena sud-appenninica; i suoi bordi rappresentano la parte emersa di una importante struttura depressa, sviluppatasi prevalentemente nel Pleistocene, ben delimitata anche nella parte sommersa dalle morfostrutture che individuano il "bacino di Sapri" (Ortolani *et alii*, 1997). I margini emersi del Golfo di Policastro, sono costituiti da rocce carbonatiche e terrigene caratterizzate da una strutturazione complessa originatasi ed evolutasi durante le fasi mio-plioceniche e pleistoceniche (Ortolani, *et alii*, 1989, 1990; Bonardi *et alii*, 2009). La tettonica che interessa l'intera successione, ha originato scarpate di faglia con orientamento appenninico ed antiappenninico che costituiscono i margini dell'intero Golfo di Policastro, con rigetti complessivi variabili da 1000 m a 2000 m circa (Tocaceli, 1992).

I caratteri geomorfologici del tratto di costa sono strettamente controllati dalla natura litologica del substrato che si affiora lungo il litorale. In particolare, la piccola pianura costiera (Fig. 2) si sviluppa al margine sud-orientale del Golfo di Policastro, stretta tra le propaggini meridionali del Monte Coccovello ad E, del Monte Olivella a N e dai rilievi collinari ad W e NE.

La caratteristica baia antistante prosegue verso il mare i principali caratteri fisiografici dell'area emersa evidenziando nel complesso una forma quasi simmetrica. La piana è caratterizzata da bassi o nulli valori della pendenza, con localizzate aree depresse con quote prossime all'attuale livello di base. Dal punto di vista della idrografia generale il territorio costiero della baia di Sapri è caratterizzato dalla presenza di vari corsi d'acqua, perpendicolari al litorale, con ampi e ripidi bacini idrografici nell'immediato entroterra. Tutto il sistema idrografico brevemente descritto contribuisce, periodicamente, all'apporto di sedimenti lungo il litorale della baia, costituendo l'unica fonte di approvvigionamento.

3. LE MODIFICAZIONI GEOAMBIENTALI NATURALI E ANTROPOGENICHE DELLA BAIÀ IN EPOCA STORICA

Lo studio dei principali indicatori geologici, geomorfologici e archeostratigrafici presenti nell'area in esame hanno consentito di documentare significativi processi di alluvionamento (Fig. 3) che hanno interessato la piccola piana costiera di Sapri con importanti

condizionamenti sulla evoluzione recente della linea di costa, a partire, almeno, dal IV-V sec. d.C., e protrattasi fino alla seconda metà del XIX sec. d.C. (Tocaceli, 1995; Ortolani & Pagliuca, 1999).

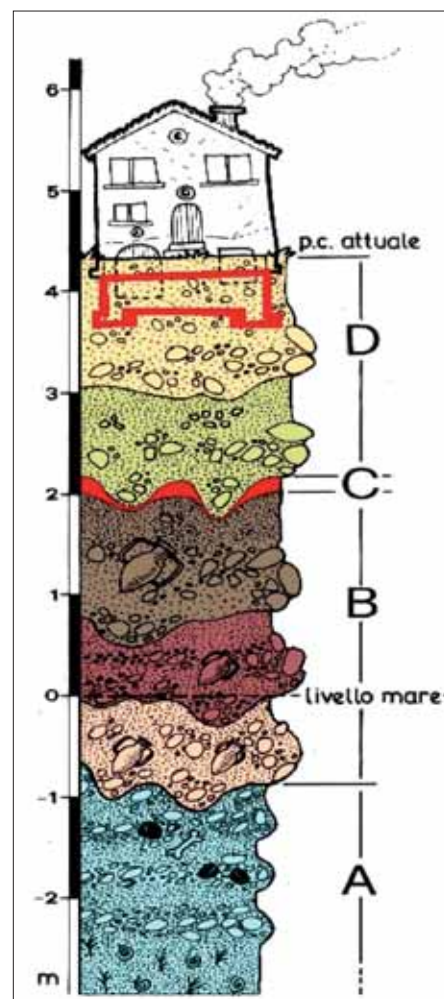


Figura 3 – Schema geoarcheologico per l'area di Sapri. A) Sedimenti di spiaggia di epoca romana imperiale; B) Alluvioni del VI-VIII sec. d.C.; C) Lombi relitti di paleosuolo; D) alluvioni del XVI-XIX sec. d.C.



Figura 2 – 3D virtuale della baia di Sapri (da Google, 2010).

Tali fenomeni hanno determinato l'accumulo di ingenti quantità di detriti fluvio-torrenziali realizzando progressivamente una sostanziale aggradazione del piano campagna ed una progradazione costiera dall'epoca romana ad oggi. Le cause degli eventi alluvionali che hanno coinvolto nel tempo, la "pocket beach" di Sapri, sono da ricercarsi principalmente in particolari momenti e/o periodi di eccezionale incremento del regime pluviometrico legati a deterioramenti climatici con alternanza di condizioni freddo-umide e caldo-aride, avvenuti durante il periodo storico, e verificati sia a scala regionale che mediterranea (Denton & Karlen, 1973; Panizza, 1985; Orombelli, 1990; Ortolani *et alii*, 1991; Ortolani & Pagliuca, 1994). Le correlazioni stratigrafiche del sottosuolo dalla piana di Sapri e le evidenze geoarcheologiche disponibili, hanno permesso, quindi, di ricostruire il più probabile scenario paleoambientale in epoca romana imperiale e la sua naturale

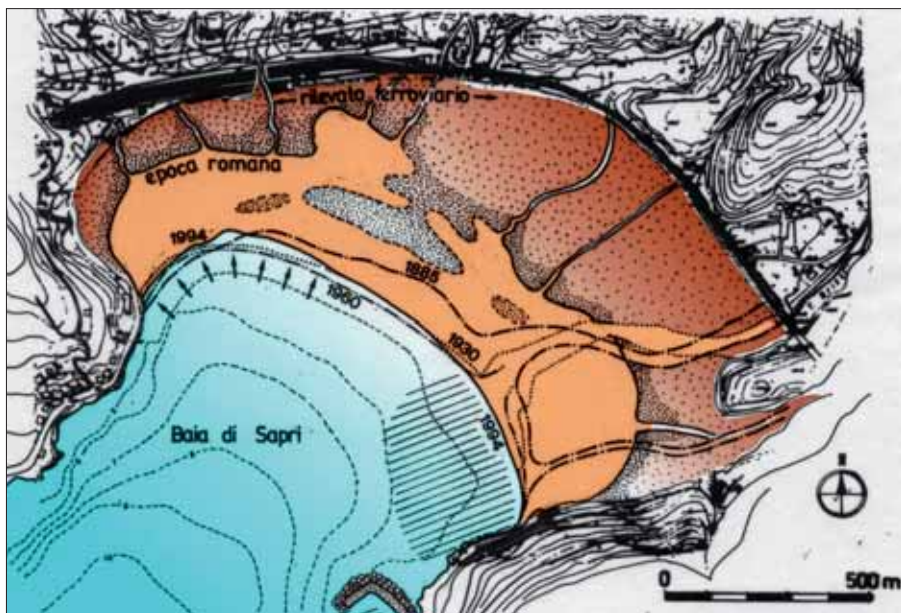


Figura 4 – La paleolinea di riva di epoca romana (I sec. a.C. – II sec. d.C.) e la progradazione fino alla configurazione attuale.

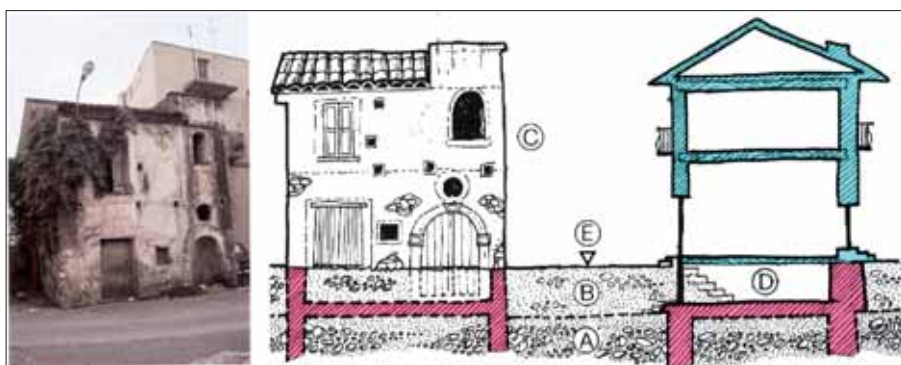


Figura 5 – Gli adeguamenti strutturali ai fabbricati in risposta agli alluvionamenti.

evoluzione fino alla attuale configurazione senza particolari condizionamenti di origine antropica. La linea di costa, tra il I ed il II sec. d.C. correva più all'interno rispetto ad oggi (Fig. 4), realizzando una sorta di insenature più riparate, molto probabilmente del tipo spiaggia-baia riparata e spiaggia-cordone litoraneo, con un livello del mare, verificato a scala locale, più basso dell'attuale di circa 1,60 - 1,70 m (Toccaceli, 1993) correlabile con le quote della paleospiegia rinvenuta nel

sottosuolo nei dintorni dell'area archeologica di Santa Croce di epoca romana, all'estremo occidentale della baia di Sapri.

Il primo grande evento alluvionale, che ricopre il piano campagna di epoca romana, è correlabile con la crisi climatica freddo umida del V-VIII sec. d.C., le cui modificazioni ambientali nell'area mediterranea risultano essere quelle più diffuse (Ortolani & Pagliuca, 1994) e già evidenziate in letteratura (Vita Finzi, 1969). Si realizza, quindi, il progressivo

colmamento delle piccole insenature costiere ed una marcata progradazione del litorale.

Segue, sulla base delle ricostruzioni stratigrafiche, una ulteriore fase di alluvionamento della piana costiera i cui depositi sono correlabili con gli eventi legati alla crisi climatica freddo-umida del XVI-XIX sec. d.C., denominata Piccola Età Glaciale (Vita Finzi, 1969; Denton & Karlen, 1973; Panizza, 1985; Orombelli, 1990; Ortolani *et alii*, 1991; Ortolani *et alii*, 1993; Ortolani & Pagliuca, 1994), realizzando, così, l'attuale configurazione della *pocket beach* e del litorale.

Le testimonianze della coesistenza conflittuale tra una progressiva antropizzazione del territorio (*forzata regimazione del reticolo idrografico, urbanizzazione di aree morfologicamente depresse e/o in aderenza alle aste torrentizie*) e processi morfodinamici (*fenomeni alluvionali*) sono rappresentate da evidenze architettoniche e strutturali riscontrabili sui fabbricati e manufatti antichi datati al XVIII-XIX sec. circa.

Si tratta, nel complesso, di soluzioni tecniche adottate come sistema di difesa ai sempre più frequenti alluvionamenti, per cui, passivamente, si realizzavano adeguamenti strutturali che consistevano nel sollevare il piano di calpestio dei piani terra e/o dei primi piani dei fabbricati ubicati nelle aree più vulnerabili (Fig. 5) rispetto alla quota del piano campagna (Toccaceli, 1995).

La regimazione forzata degli alvei dei torrenti che ancora attualmente drenano l'intera piana, ha progressivamente, nel tempo, ridotto e costretto la sezione con difese spondali che, in alcuni casi, ne hanno anche sollevato il letto rispetto all'attuale piano campagna. Attualmente, in occasione di copiose precipitazioni, la piana di Sapri viene periodicamente alluvionata per lo straripamento delle acque lungo i principali canali (Fig. 6).

Altra problematica strettamente connessa alla evoluzione recente delle piane costiere la cui grande attualità è verificata anche a



Figura 6 – Gli alvei regimati in piena e le aree depresse del tessuto urbano alluvionate.



Figura 7 – IGM, foto aerea BN 1954-1955. Autorizzazione a scopo di studio, Conc. SMA del 7.4.1970.

scala nazionale, è rappresentata dalla accentuata erosione dei litorali che da alcuni decenni ha cominciato a manifestarsi creando seri problemi a manufatti e strutture di pubblica utilità.

Tali processi rappresentano, ad oggi, l'effetto più vistoso connesso alle modificazioni geoambientali antropogeniche per la piana costiera e del litorale di Sapri. In questo senso, le ricerche condotte, confortate anche da documentazione fotografica storica, hanno evidenziato che durante i primi anni del '900 si realizza il massimo utilizzo dei depositi sabbiosi per usi edificatori con il completo smantellamento dei cordoni dunari; con gli anni '50 e '60, si raggiunge il massimo dello sfruttamento dei settori di spiaggia emersa con la costruzione di insediamenti balneari e infrastrutture con soluzioni di tipo "rigido".

La foto aerea del 1955 (Fig. 7) evidenzia chiaramente l'assenza di strutture antropiche lungo il ristretto litorale della *pocket beach* ed una omogenea e continua distribuzione dei sedimenti di spiaggia.

Una serie di osservazioni e dati sperimentali hanno confermato che le correnti prevalenti lungo costa, all'interno della baia, alimentate da mareggiate indotte dai venti regnanti dai settori di SW e SE, risultavano responsabili dello spostamento dei sedimenti litoranei, periodicamente ed alternativamente, in senso orario ed antiorario, soprattutto in corrispondenza dell'alternarsi delle stagioni autunnale-invernale e primaverile-estiva. Questa particolare condizione consentiva un periodico ed alternato ripascimento naturale

lungo tutto il litorale della baia compensando eventuali e momentanee mancanze di sedimenti. La costruzione del molo foraneo del porto di Sapri al margine orientale, unitamente alla realizzazione di un'altra struttura rigida radente costruita lungo il litorale all'estremità occidentale, hanno interferito quindi con quello che era il principale contributo delle azioni meteomarine nel ripascimento naturale della spiaggia. Il molo di sopraflutto (Fig. 8) ha definitivamente ostacolato le correnti principalmente provenienti dal settore di SE, rendendo predominanti quelle provenienti dal settore di SW. Il prevalente spostamento dei sedimenti litoranei mobilizzabili in senso orario, ha inne-

scato un sensibile ripascimento dei settori più orientali della baia (*cf. frecce ad oriente*) con conseguente aggradazione del fondale antistante (*settore evidenziato*), protetto dal molo di sottoflutto del porto, per svariate decine di metri dalla attuale linea di costa.

Contestualmente, la struttura radente realizzata (anni '50) al margine occidentale del litorale, sporgendo in quel settore di una trentina di metri rispetto alla linea di battigia, ha innescato, localmente, un marcato processo erosivo (Fig. 9) ad est dello stesso, ostacolando il periodico trasporto dei sedimenti litoranei ed il conseguente ripascimento del settore costiero.

Proprio questo settore di litorale, in relazione alla profonda erosione ed alla marcata modificazione dei fondali, risente dei danni provocati da eventi meteomarine di eccezionale intensità che periodicamente si abbattano sul litorale del Golfo di Policastro.

4. INDIVIDUAZIONE DEI PRINCIPALI FATTORI DI RISCHIO COSTIERO

I fenomeni osservati confermano la necessità di acquisire una adeguata conoscenza della storia geologica di una spiaggia e delle tendenze morfoevolutive a supporto delle valutazioni di rischio geoambientale di aree costiere, e come, riferendoci al caso particolare, l'erosione dei litorali, intesi come risorsa geomorfologica, innescata dai processi di antropizzazione, stia interferendo in modo marcato con il medesimo sviluppo urbano ed infrastrutturale, lungo le aree costiere sempre più progressivamente vulnerabili, sia nella sua attuale distribuzione che nella sua potenziale evoluzione.

In tal senso, in principali fattori di rischio geoambientale delle aree costiere indotti da modificazioni naturali e/o antropogeniche, vengono definiti in termini di pericolosità e vulnerabilità, a partire, in questo caso, dal-



Figura 8 – La dinamica costiera in presenza del porto e di strutture "rigide" lungo litorale.



Fig. 9 – Report fotografico (1960 - 2010) del settore di litorale maggiormente eroso; le frecce indicano i capisaldi di riferimento; il tratteggio la linea di costa al 1960.

la individuazione della relativa pericolosità geomorfologica. Pericolosità geomorfologica intesa come processo di instabilità geomorfologica, e cioè: “una forma che non è in equi-

loro interazione è detto rischio. Applicando tali concetti al caso presso in esame, è possibile evidenziare i delicati rapporti di forza esistenti attraverso la sintesi riportata nella tabella 1.

Tabella 1 – Fattori di rischio geoambientale della fascia costiera (litorale clastico)

risorsa geomorfologica	la fascia costiera nella accezione di spiaggia
pericolosità geomorfologica	processo erosivo come instabilità geomorfologica del sistema spiaggia
attività antropica	strutture come interferenza nel processo di dinamica costiera
vulnerabilità territoriale	bene esposto, in termini ambientali e socio-economici, suscettibile di danno

librio con l'ambiente naturale o antropizzato, e che quindi, tende a raggiungere un nuovo equilibrio modificandosi”, oppure “una forma in equilibrio, ma particolarmente dinamica” (Panizza M., 1992). In quest'ottica, la pericolosità geomorfologica indica la probabilità che un certo fenomeno di instabilità geomorfologica e di una determinata energia si verifichi sul territorio (*modificazioni naturali*) in un determinato intervallo di tempo (Panizza, 1987). Mentre, per quanto attiene alle attività antropiche, queste, quali interventi dell'uomo sul territorio, determinano, direttamente o indirettamente, trasformazioni ambientali più o meno profonde (*modificazioni antropogeniche*). Di conseguenza, la vulnerabilità territoriale è intesa come l'insieme complesso di tutto ciò che esiste di antropico in un certo sistema naturale, comunque in evoluzione, e che direttamente o indirettamente è suscettibile di danno materiale. In quest'ottica complessa ed articolata, impostando, in generale, un rapporto diretto tra la risorsa geomorfologica e l'attività antropica, e considerando la prima “passiva” rispetto alla seconda, si realizza un determinato impatto. In un rapporto diretto tra pericolosità geomorfologiche e vulnerabilità territoriali, e considerando le prime “attive” rispetto alle seconde, il risultato della

Appare quindi evidente come la valutazione dei fattori di rischio, ed in particolare quelli connessi ai fenomeni di erosione delle aree costiere, assumono una crescente importanza, così come evidenziato ampiamente a scala nazionale (Zunica, 1987; Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, 2006), soprattutto in termini di risorsa (Ortolani & Pagliuca, 1999), sia essa ambiente naturale o ambiente antropizzato. L'importanza, nasce dalla ormai crescente antropizzazione ed valore socioeconomico delle aree costiere, alla conseguente aumentata vulnerabilità, alle tendenze delle variazioni climatiche ed al sollevamento del livello del mare, quantificabile, quest'ultimo, secondo recenti stime (Antonoli e Silenzi, 2007), in circa 1,8 mm/anno per gli ultimi 50 anni.

BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA

- ANTONOLI F. & SILENZI S. (2007), *Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane*. Quaderni della Società Geologica Italiana, vol. 2, Ottobre.
- BONARDI G., CIARCIA S., DI NOCERA S., MATANO F., SGROSSO I. & TORRE M. (2009), *Carta delle principali unità cinematiche dell'Appennino meridionale. Nota illustrativa*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. 128, pp. 47-60, 2 figs., 1 pl. f.t.
- CORTESE F. (2010), *Ambiente costiero e processi erosivi nel Golfo di Policastro (Tirreno meridionale*

- nale - Campania): analisi di un sistema antropizzato ad alta dinamicità geomorfologica e dei principali elementi di rischio geoambientale*. Tesi di Laurea in Rischio Geoambientale delle fasce costiere (*inedita*). Università degli Studi di Perugia. Facoltà di Scienze della Formazione Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali – Corso di Laurea in Coordinamento delle Attività di Protezione Civile, Anno Acc. 2009-2010.
- DENTON G.H. & KARLEN W. (1973), *Holocene climatic variation. Their pattern and possible cause*. Quat. Res., 3, 155-205.
- GRUPPO NAZIONALE PER LA RICERCA SULL'AMBIENTE COSTIERO (2006), *Lo stato dei litorali italiani*. Studi Costieri, 10, 65-70.
- OROMBELLI G. (1990), *Ghiacciai, clima, equilibri ambientali*. Mem. Soc. Geol. It., 435, p. 833-837.
- ORTOLANI F., PAGLIUCA S. (1999), *I litorali della Campania: caratteristiche e problemi geoambientali. Evoluzione in relazione alle variazioni climatiche. Importanza economica. Estr. La fascia costiera della Campania*, a cura di Massimo Rosi. Giannini Ed., Napoli
- ORTOLANI F., PENNETTA M. & TOCCACELI R. M. (1997), *Evoluzione morfostrutturale pleistocenico-olocenica del Golfo di Policastro e movimenti di massa profondi*. Geografia Fisica & Dinamica Quaternaria, 20, 101-105, 5 ff.
- ORTOLANI F. & PAGLIUCA S. (1994), *Variazioni climatiche e crisi dell'ambiente antropizzato*. Il Quaternario, 7 (1), 351-356.
- ORTOLANI F., PAGLIUCA S. & TOCCACELI R. M. (1992), *Ricerche geoarcheologiche applicate alla ricostruzione delle modificazioni ambientali recenti*. Atti. Conf. Scient. Ann. Att. Ric. del Dipartimento Scienze della Terra, Napoli.
- ORTOLANI F., PAGLIUCA S. & TOCCACELI R.M. (1991), *Osservazioni sull'evoluzione geomorfologica olocenica della piana costiera di Velia (Cilento, Campania) sulla base di nuovi rinvenimenti archeologici*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14, p. 163-169.
- PANIZZA M., PIACENTE S. (2003), *Geomorfologia culturale*. Pitagora Ed.
- PANIZZA M. (1987), *Il ruolo della geomorfologia sulla valutazione d'impatto ambientale*. Atti 6° Congr. Naz. Ord. Geol. Venezia, settembre 1987.
- PANIZZA M. (1985), *Schemi cronologici del Quaternario*. Geogr. Fis. Din. Quat., 8, 44-48, Torino.
- TOCCACELI R. M. (1995), *Evoluzione geomorfologica e antropizzazione della piana costiera di Sapri in epoca storica (Tirreno meridionale, Golfo di Policastro)*. Geologia Tecnica & Ambientale, trimestrale dell'Ordine Nazionale dei Geologi, Roma n° 3.
- Toccaceli R. M. (1993), *Evidenze geoarcheologiche di variazioni del livello del mare in epoca storica: l'insediamento romano di Santa Croce (Sapri, Golfo di Policastro)*. “Variazioni climatico-ambientali e impatto sull'uomo nell'area circummediterranea durante l'Olocene”, vol. spec. Centro Univ. Eur. per i Beni Culturali. Ravello.
- Toccaceli R.M. (1992), *Principali elementi morfostrutturali del tratto di costa sommerso tra Sapri e la foce del Fiume Noce (Golfo di Policastro)*. Giorn. Geol., ser. 3, 54(2), 91-101.
- Toseroni F. (2009), *Protezione e difesa civile. Storia, organizzazione, pianificazione ed analisi delle minacce future*. EPC Libri.
- Vita Finzi C. (1969), *The Mediterranean valleys. Geological changes in historical times*. Cambridge University Press, Cambridge, 140 pp.
- Zunica M. (1992), *Ambiente costiero e valutazione d'impatto*. Patron Editore.

L'utilizzo di invasi per la mitigazione del rischio idrogeologico

Applicazioni nel contesto collinare della Provincia di Asti

TOJA M.⁽¹⁾, DI MARTINO L.⁽¹⁾, RICCA G.⁽¹⁾, MASCIOTTO L.⁽²⁾, COLASUONNO A.⁽¹⁾

(1) Regione Piemonte, Direzione OO.PP., Difesa del Suolo, Economia Montana e Foreste
(2) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino

1. PREMESSA

Il territorio della Provincia di Asti risulta interessato in modo ricorrente da fenomeni di allagamento che coinvolgono le aree di fondovalle degli impluvi collinari con conseguente coinvolgimento di infrastrutture viarie, aree urbanizzate ed insediamenti commerciali ed industriali.

Il presente studio analizza alcune soluzioni tecniche finalizzate alla riduzione dei fenomeni di trasporto solido e del valore al colmo delle portate originate da eventi piovosi di forte intensità e breve durata, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza idraulica della rete idrografica secondaria superficiale, portando così ad una riduzione dell'impatto sul territorio dei fenomeni di esondazione conseguenti agli eventi meteorici sopraccitati.

È in fase di sperimentazione l'utilizzo di invasi e vasche di laminazione/sedimentazione da inserire nella rete delle canalizzazioni esistenti, questo allo scopo di ottenere un temporaneo immagazzinamento delle acque con conseguente riduzione della portata al colmo ed allungamento dei tempi di formazione dell'idrogramma di piena (Anselmo, 1997). Gli interventi proposti consentiranno altresì un marcato abbattimento della portata solida dei corsi d'acqua (nei casi in esame sabbie e limi) che, nel contesto del territorio collinare in esame, costituisce elemento di criticità.

Questa tipologia di interventi ha inoltre la funzione (in seguito all'accumulo idrico negli invasi) di aumentare, a scala prettamente locale, il tempo di corrivazione (in determinate sezioni di chiusura individuate nel corso dello studio) con il risultato di mitigare il rischio idraulico a valle delle predette sezioni; ciò comporterà un beneficio al reticolo idrografico ricettore per la riduzione dei volumi idrici in arrivo con conseguente miglioramento sia per quanto concerne i dissesti lungo le infrastrutture ed i manufatti antropici, sia per quanto riguarda la pianificazione urbanistica territoriale a media e piccola scala (con specifico riferimento all'adeguamento dei Piani Regolatori generali al P.A.I., Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del F. Po), in rapporto alla corretta gestione del reticolo idrografico secondario di competenza regionale.

Nel prosieguo del presente contributo vengono proposte tre applicazioni riferite a contesti territoriali di differente dislocazione e geomorfologia, ma con omogenee caratteristiche idrologiche dei bacini e della tipologia del reticolo idrografico; le casistiche riportate sono riconducibili a criticità ricorrenti per le quali sono state previste soluzioni progettuali tipologicamente confrontabili, ma con specifiche differenze in funzione del contesto geologico e geomorfologico locale.

I tre casi sono riferiti il primo ad un intervento esistente, il secondo ad un intervento in fase di progetto, il terzo ad una fase propeudeutica alla progettazione.

Inquadramento geografico e geologico

Lo studio si concentra in tre ambiti territoriali situati nel settore centro occidentale della Provincia di Asti. Il territorio è caratterizzato da un paesaggio collinare con assetto geomorfologico direttamente correlabile con le caratteristiche litotecniche dei depositi del substrato.

L'ambito territoriale esaminato risulta compreso in quel dominio paleogeografico che viene generalmente indicato in letteratura come Bacino Terziario Ligure Piemontese (BTLP). In particolare il settore centro-occidentale della provincia di Asti è caratterizzato dalla presenza di una successione pliocenica, costituita da formazioni terrigene (Foglio ASTI, 1969 – scala 1:100.000 e Foglio Trino, 2003 – scala 1:50.000). Le Argille Azzurre (Argille di Lugagnano) costituiscono il termine basale della successione pliocenica e sono rappresentate da silt ed argille talvolta marnosi, omogenei e con fantasmi di stratificazione piano – parallela. Seguono le Sabbie di Asti (Pliocene Medio) formate da una successione piuttosto omogenea, prevalentemente limoso – sabbiosa e priva di evidente stratificazione.

2. PRIMO CASO: REALIZZAZIONE DI UN BACINO DI LAMINAZIONE NEL COMUNE DI NIZZA MONFERRATO

2.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

Il primo intervento è ubicato nel Comune di Nizza Monferrato, sito nel settore meridionale della Provincia di Asti. L'assetto geologico

dell'area è caratterizzato dalla presenza della formazione delle Argille di Lugagnano (Pliocene), costituite da argille marnoso-sabbiose grigio-azzurre. Dal punto di vista geomorfologico l'area in esame è rappresentata da un piccolo bacino idrografico delimitato da rilievi collinari e sotteso dalla Strada Comunale denominata "Strada Vecchia per Asti". Il sito è interessato da infrastrutture quali una strada comunale, la strada provinciale 456 e la linea ferroviaria Asti-Acqui Terme, oltre che da un nucleo abitato.

Tabella 1 – Dati fisiografici del bacino "Strada Vecchia per Asti"

DATI FISIOGRAFICI DEL BACINO	
Superficie del bacino (km ²)	0,27
Lunghezza asta principale (km)	0,39
Altezza massima s.l.m. (m)	248
Altezza minima (m)	159
Altezza media (m)	191
Pendenza dell'asta principale (%)	23%

La rete idrografica, nella sezione di chiusura individuata da manufatto di sbarramento, sottende una superficie di circa 0,27 km². Accurate analisi idrologiche hanno evidenziato come tale rete idrografica entri facilmente in crisi per eventi piovosi con precipitazioni di breve durata e forte intensità. Infatti, nel corso di uno specifico evento verificatosi il 07.07.2005 si sono registrati 28,8 mm di pioggia in 20 minuti (con corrispondenza di un tempo di ritorno pari a 100 anni); tale idrogramma è stato assunto "di progetto" e la simulazione degli effetti della precipitazione di riferimento è stata condotta mediante il codice SWMM, sviluppato dalla EPA ed utilizzato nella versione ingegnerizzata dalla CHI di Ontario (Canada). Il modello è stato opportunamente utilizzato per lo studio della formazione del deflusso e convogliamento nelle reti complesse sia naturali che artificiali, secondo la versione ingegnerizzata disponibile in commercio come PCSWMM.

L'idrogramma in ingresso alla vasca di laminazione risulta dato dal modello ideologico ed il volume dell'idrogramma risulta pari a 1270 m³ circa venendo totalmente contenuto nella vasca in progetto. L'idrogramma in uscita ha un colmo pari a 0,440 m³/s a fronte di un



Figura 1 – Effetti dell'esondazione del reticolo idrografico minore in corrispondenza della S.C. Vecchia d'Asti

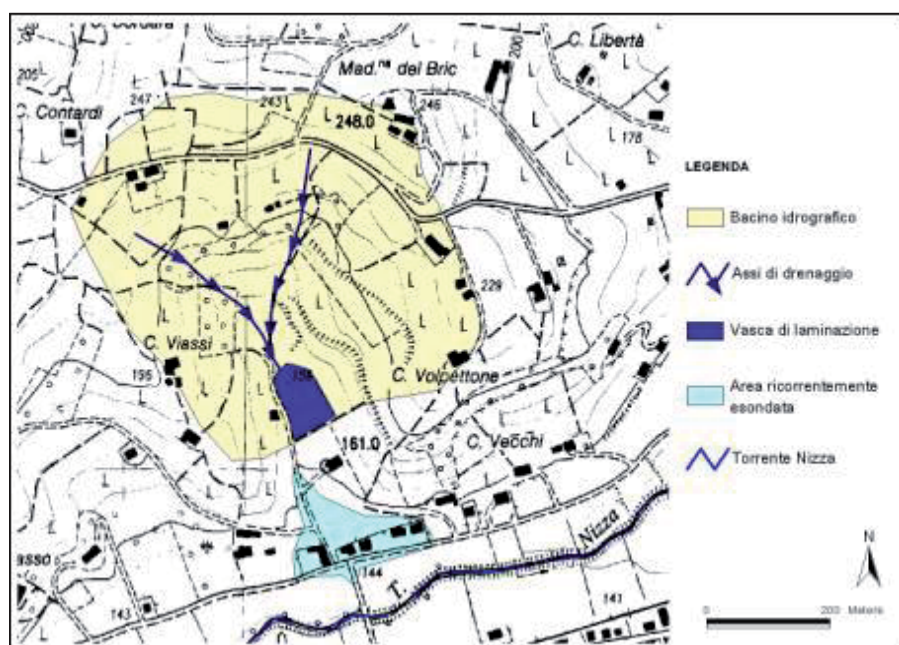


Figura 2 – Ubicazione dell'area, principali elementi morfologici ed indicazioni delle soluzioni progettuali attuate.



Figura 3 – Panoramica dell'invaso realizzato.



Figura 4 – Scarico di superficie dell'opera. In primo piano il rilevato arginale

valore di 1.65 m^3 in entrata con un rapporto di laminazione pari a 0.26.

2.2. CRITICITÀ E SOLUZIONE PROGETTUALE

Nel contesto delineato il reticolo idrografico minore risulta soggetto ad importanti e ricorrenti fenomeni di allagamento, a seguito di eventi meteorici brevi ed intensi, che coinvolgono le infrastrutture ed il nucleo abitato presente nell'area. Questa situazione è ulteriormente aggravata dai rilevanti processi di trasporto solido limoso – sabbiosi caratteristici del bacino in esame.

Per ovviare a tale criticità è stato progettato dall'Ing. V. Anselmo e successivamente realizzato un invaso di raccolta situato nella zona di raccordo tra i versanti e la piana alluvionale, con la finalità di minimizzare il rischio idrogeologico nell'area, riconducendo la pericolosità geomorfologica ai valori previsti dal PAI (probabilità annua di accadimento 0.005). L'opera consente di ridurre la portata di ingresso nella rete di collettori posti a valle ed il convogliamento modulato delle acque nei recettori finali con efficace protezione idraulica del territorio.

Il manufatto di sbarramento, costituito da materiale limoso – sabbioso, è stato verificato alla filtrazione mediante codice di calcolo ad elementi finiti in moto stazionario (codice SEEP-2D in ambiente GMS) assumendo una conducibilità idraulica pari a 10^{-5} m/s . Altresì il manufatto di scarico sarà costituito da un condotto in PEAD, strutturato con DN1200 e diametro interno $f = 1200$. L'imbocco del condotto sarà controllato da un dispositivo costituito da due pozzetti di dimensioni interne $150 \times 150 \text{ cm}$.

Il bacino di laminazione è entrato in funzione in occasione dell'evento meteorico del 15 – 16 marzo 2011 ed ha consentito di laminare le portate del reticolo affluente ed eliminare il rischio di potenziali esondazioni, come accaduto per eventi confrontabili in passato.

3. SECONDO CASO: REALIZZAZIONE DI UN BACINO DI LAMINAZIONE NEL COMUNE DI AGLIANO TERME

3.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

Il sito in esame ricade nella Fraz. Salere del Comune di Agliano Terme. L'assetto geologico del settore in esame è caratterizzato dall'affioramento delle sabbie limose riconducibili alla Formazione delle Sabbie di Asti (Pliocene). Dal punto di vista geomorfologico l'abitato di Salere è situato sul fondovalle del T. Nizza (sponda sx) che, nel tratto in esame, presenta una vallata in spiccato sovralluvionamento con conseguente elevata difficoltà di drenaggio ed alveo quasi pensile rispetto alla pianura circostante. L'abitato è inoltre situato al piede di un esteso versante collinare attraversato dalla strada comunale Scorrone, che costituisce l'asse drenante dell'intero versante convogliando le acque in corrispondenza della strada provinciale 59, che si snoda sul fondovalle, e della Fraz. Salere.

Tabella 2 – Dati fisiografici del bacino "S.C. Scorrone"

DATI FISIOGRAFICI DEL BACINO

Superficie del bacino (km ²)	0,16
Lunghezza asta principale (km)	0,75
Altezza massima s.l.m. (m)	280
Altezza minima (m)	156
Altezza media (m)	217
Pendenza dell'asta principale (%)	15%

3.2. CRITICITÀ E SOLUZIONE PROGETTUALE

La criticità è rappresentata da un versante impluviale, caratterizzato da significativi fenomeni di erosione superficiale, che convoglia le portate liquide e solide (materiali sabbioso – limosi) lungo la S.C. Scorrone (asse drenante del versante), veicolandole in corrispondenza dell'abitato di Salere e della viabilità provinciale e comunale. Questa situazione determina frequenti episodi di allagamento e conseguente deposizione di materiali limosi con spessori medi intorno ai 20 cm, definendo nel contempo severi rischi per la pubblica e privata incolumità in corrispondenza degli edifici e della viabilità. La natura del substrato e l'attività agricola lungo i versanti comportano inoltre la presenza di ingenti fenomeni di trasporto solido che vanno ad aggravare ulteriormente il quadro di criticità descritto.

Il ricettore finale (T. Nizza) è in fase di sovralluvionamento e quindi tende sovente a rigurgitare gli apporti dai tributari minori e tale condizione accentua ulteriormente il quadro delle criticità descritto.

E' attualmente in fase di progettazione un intervento di messa in sicurezza dell'area costituito dai un'opera di intercettazione, una



Figura 5 – S.C. Scorrone in occasione di un evento meteorico intenso.



Figura 6 – Effetti delle piogge intense in corrispondenza di edifici di civile abitazione e della S.P. 59.



Figura 7 – Area esondata durante l'evento di dicembre 2008.

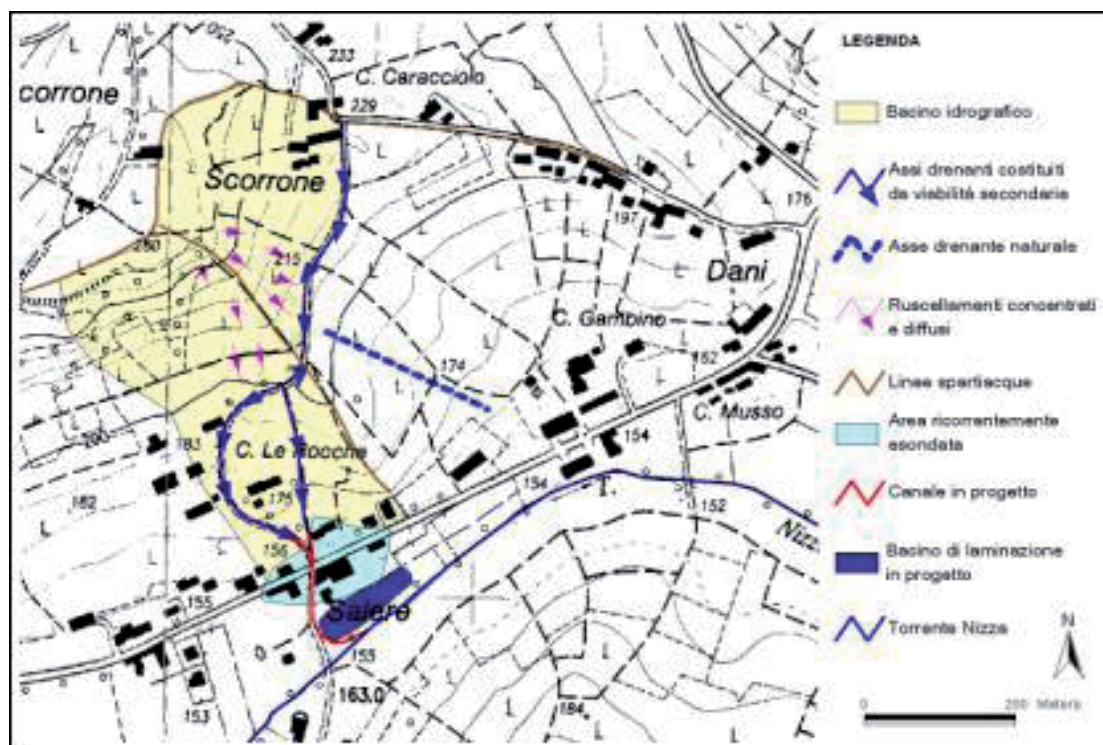


Figura 8 – Ubicazione dell'area, principali elementi morfologici ed indicazioni delle soluzioni in progetto.

di veicolazione ed una terza di accumulo, decantazione e smaltimento.

Opera di intercettazione: è situata in corrispondenza della zona di raccordo tra il versante e la piana alluvionale del T. Nizza. Si prevede la realizzazione di un sistema di canalizzazione parallelo alla S.C. Scorrone nel quale convergono le acque raccolte dalla S.C. stessa e da un sistema di caditoie. E' altresì prevista la realizzazione di alcuni pozzetti di sedimentazione in modo da abbattere il trasporto solido.

Opera di veicolazione: costituita da un canale scatolare della lunghezza di circa 80 m in grado di bypassare la S.P. 59 e la S.C.

di Via Gherzo. Detto canale sarà in grado di convogliare le acque direttamente nel T. Nizza. Qualora le altezze idrometriche del T. Nizza non consentano il recepimento delle acque, il canale convoglierà le stesse, mediante uno sfioro, in un bacino appositamente realizzato.

Opera di accumulo/decantazione/smaltimento: è situato sulla pianura alluvionale del T. Nizza e, sfruttando la conformazione geomorfologica naturale dell'area, consentirà previo adeguamento altimetrico, di laminare le portate del canale. Le acque accumulate verranno quindi rilasciate per gravità nel Torrente Nizza in modo controllato e compatibile con la dinamica dei livelli idrici generati dalla piena.

4. TERZO CASO: REALIZZAZIONE DI UN BACINO DI LAMINAZIONE NEL CONCENTRICO DEL COMUNE DI CASTELNUOVO DON BOSCO

4.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE – CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

Il sito in esame ricade nel concentrico del Comune di Castelnuovo Don Bosco.

L'assetto geologico del settore in esame è caratterizzato dall'affioramento di sabbie limose riconducibili alla Formazione delle Sabbie di Asti (Pliocene).

Dal punto di vista geomorfologico l'abitato si sviluppa in parte nella pianura alluvionale del T. Traversola ed in parte sui versanti collinari.

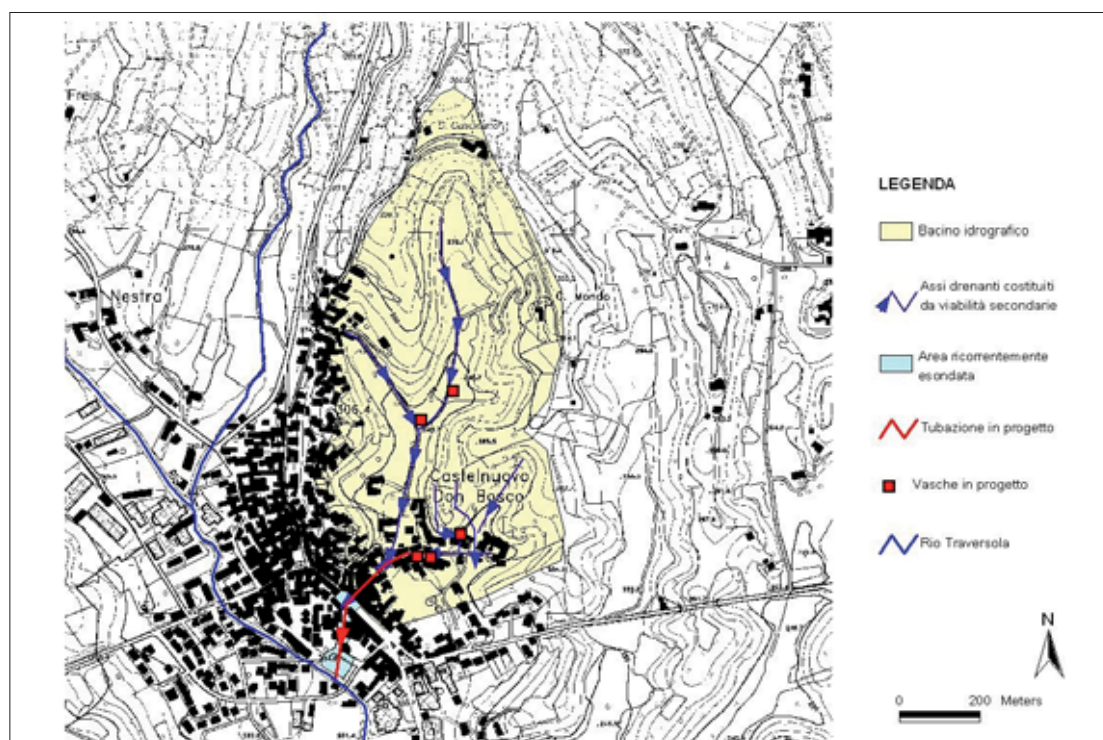


Figura 9 – Ubicazione dell'area, principali elementi morfologici ed indicazioni delle soluzioni tecniche ipotizzate.

Per la conformazione stessa del concentrico le strade collinari, in occasione di eventi meteorici intensi, veicolano le acque dai versanti convogliandole nella piazza centrale denominata Piazza Dante (raccordo versanti – piana alluvionale).

Tabella 3 – Dati fisiografici del bacino “concentrico Castelnovo D.B.”

DATI FISIOGRAFICI DEL BACINO

Superficie del bacino (km ²)	0,57
Lunghezza asta principale (km)	1,150
Altezza massima s.l.m. (m)	364,5
Altezza minima (m)	240
Altezza media (m)	284
Pendenza dell'asta principale (%)	10,8

4.2. CRITICITÀ E SOLUZIONE PROGETTUALE

In questo caso studio la criticità è rappresentata dall'azione delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti circostanti l'abitato che, veicolate ad elevata velocità ed energia lungo le strade del concentrico (caratterizzate da elevate pendenze), convergono verso la piazza mercatale sottostante, la quale è soggetta a ripetuti episodi di allagamento con significativi accumuli di materiale limoso-sabbioso.

I fenomeni interessano anche numerosi edifici pubblici e privati che si affacciano sulla piazza.

Si prevede quindi di intercettare le acque dalle sedi stradali convogliandole in apposite vasche interrato da realizzare in corrispondenza delle strade comunali nella porzione medio – bassa del bacino idrografico. Dette vasche avranno la funzione prioritaria dell'abbattimento del picco di piena ma potranno contestualmente essere utilizzate anche per altri scopi quali antincendio, irriguo, ecc. Le acque raccolte, comunque, attraverso un idoneo sistema di regolazione, verranno recapitate, per gravità, al vicino torrente Traversola. Occorre ancora puntualizzare che, valutato l'elevato trasporto solido caratteristico del contesto morfologico in esame, si sono previste delle vasche di sedimentazione da ubicarsi in idonei siti che verranno definiti in sede di progettazione.

5. CONCLUSIONI

Con tale studio si è inteso evidenziare la funzione, ai fini della laminazione e dell'abbattimento del trasporto solido, dei piccoli invasi in un contesto prettamente collinare caratterizzato da significativi fenomeni di esondazione a scala locale, associati alla presenza di materiale fine facilmente mobilizzabile.

Le criticità emerse hanno fornito lo spunto per l'individuazione di soluzioni progettuali finalizzate alla riduzione del rischio idrogeologico. Le soluzioni proposte sono estrapolabili in altri contesti collinari ubicati sul territorio nazionale. A tale scopo l'obiettivo in un pros-

simo futuro è di confrontare le esperienze con realtà similari per condividere le soluzioni progettuali adottate da altre amministrazioni locali, Università e liberi professionisti.

BIBLIOGRAFIA

ANSELMO V. (1997), *Dispositivi di invaso e laminazione a basso impatto ambientale*. Quaderni di idronomia montana, 17, Editoriale Bios, Cosenza.
 CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (1969), Foglio 69 “Asti” alla scala 1:100.000. Seconda edizione Serv. Geol. D'Italia, Roma.
 APAT (2003), Foglio 157 “Trino” alla scala 1:50.000. Prima Edizione
 www.adbpo.it, indicazioni riguardanti il P.A.I., Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del F. Po.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INVASI

NORMATIVA NAZIONALE

Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici.
 Decreto del Presidente della Repubblica 1° novembre 1959, n. 1363 Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta.
 Decreto Ministero dei Lavori Pubblici 24 marzo 1982 Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento.
 Circolare M. LL.PP. 28 agosto 1986, n. 1125 Oggetto: modifiche ed integrazioni alle precedenti circolari 9.2.1985 n. 1959 e 29.11.1985 n. 1391 concernenti sistemi d'allarme e segnalazioni di pericolo per le dighe di ritenuta di cui al regolamento approvato con D.P.R. 1.11.1959 numero 1363 - Testo completo ed aggiornato.
 Circolare n. 13 Ml. PC. (87) 7 Oggetto: Piani di emergenza per incidenti alla dighe di ritenuta di cui al regolamento approvato con D.P.R. n. 1363 dell'1/11/1959.
 Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 4 dicembre 1987, n. 352 Prescrizioni inerenti l'applicazione del regolamento sulle dighe di ritenuta approvato con decreto del Presidente della Repubblica 1° Novembre 1959, n. 1363 (G.U. 19-1-1988, n. 14).
 Legge 18 maggio 1989, n. 183 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
 Decreto Presidente della Repubblica 24 gennaio 1991, n. 85 Regolamento concernente la riorganizzazione ed il potenziamento dei servizi tecnici nazionali geologico, idrografico e mareografico, sismico e dighe nell'ambito della presidenza del consiglio dei ministri, ai sensi dell'art.9 della legge 18 maggio 1989, n. 183.
 Legge 21 ottobre 1994, n. 584 Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 8 agosto 1994, n. 507, recante misure urgenti in materia di dighe.
 Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 19 aprile 1995, n. us/482 Dighe di ritenuta - Competenze in materia di vigilanza sulla progettazione, la costruzione e l'esercizio.
 Circolare 13 dicembre 1995, n. dstn/2/22806 Disposizioni attuative e integrative in materia di dighe.
 Circolare 19 marzo 1996, n. dstn/2/7019
 Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112 Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazio-

ne del capo I della legge 15 marzo 1997, n.59.
 Circolare del capo del Dipartimento per i servizi tecnici Nazionali 16 giugno 1998, N. DSTN/2/12874 Determinazione delle fasce di pertinenza fluviale di cui alla circolare 13/12/95 n. DSTN/2/22806.
 Circolare n. 1 Ml. SA. 99 Oggetto: Studio relativo alle onde di piena artificiali di cui alla circolare Min. LL.PP. nr. 352/87 (ipotetico collasso).
 Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152 Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.
 Circolare 7 aprile 1999, n.2 Legge n. 584/1994. Competenze del Servizio nazionale dighe. Precisazioni.
 Legge 1 agosto 2002, n. 166 Disposizioni in materia di infrastrutture e trasporti.
 Decreto del Presidente della Repubblica 24 marzo 2003, n.136 Regolamento concernente l'organizzazione, i compiti ed il funzionamento del Registro italiano dighe - RID, a norma dell'articolo 91 del decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112.
 Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 febbraio 2004 Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile.
 Decreto-legge 29 marzo 2004, n.79 Disposizioni urgenti in materia di sicurezza di grandi dighe.
 Decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito con legge 27 luglio 2004, n. 186 (art. 5) Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse.
 Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 30 giugno 2004 Criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi, ai sensi dell'articolo 40, comma 2, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, e successive modifiche ed integrazioni, nel rispetto degli obiettivi di qualità fissati dal medesimo decreto legislativo.
 Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 dicembre 2004 Disciplina dei criteri di determinazione del contributo annuo da parte dei concessionari di dighe per l'attività di vigilanza e di controllo svolta dal R.I.D.
LEGGI REGIONALI
 L.R. 04.06.1991, n. 23 Sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale.
 L.R. 11.04.1995, n. 58 Norme in materia di sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale.
 L.R. 24.07.1996, n. 49 Ulteriori modificazioni alla legge regionale 11 aprile 1995, n. 58 'Norme in materia di sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale.
 L.R. 06.10.2003, n. 25 Norme in materia di sbarramenti fluviali di ritenuta e bacini di accumulo idrico di competenza regionale. Abrogazione delle leggi regionali 11 aprile 1995, n. 58 e 24 luglio 1996, n. 49.
REGOLAMENTI REGIONALI
 Regolamento di attuazione: Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 novembre 2004, N.12/R.
 Regolamento di attuazione: Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 novembre 2004, N.12/R coordinato con Decreto del Presidente della Giunta Regionale 29 gennaio 2008, N.1/R.

La dimensione territoriale del riassetto idrogeologico

ALESSANDRA VALENTINELLI
Urbanista, già consulente dell'Autorità di Bacino del Sarno

281

MARCO ZUMAGLINI
Ingegnere, libero professionista

1. PREMESSE

Con la COM 2011/244, l'Unione Europea recepisce nelle Strategie per la Biodiversità al 2020 le recenti indicazioni dell'Agenzia per l'Ambiente (SOER, 2010) per concretizzare ciò che l'Istituto di Copenaghen ha definito la "dimensione territoriale" di un'azione complessiva di tutela, incardinata sui principi di adattamento al cambiamento climatico.

Vi spiccano gli impegni che la Politica Agricola Comune dovrà assumere per rafforzare il ruolo di connessione della rete ecologica svolto dai terreni agro-forestali: dal settennio 2013-2020, il ripristino del set-

aside, il recupero degli ecosistemi degradati, la gestione sostenibile delle aree boschive, la conservazione degli habitat, l'attuazione della Direttiva 00/60 sulle acque si avvarranno di quote crescenti delle risorse sinora destinate al comparto agricolo. Si prefigura dunque una duplice maturazione degli indirizzi comunitari: da un lato, affinando le strategie che possono concorrere alla salvaguardia dell'ambiente attraverso una sempre più stretta integrazione tra settori d'intervento; dall'altro, assumendo una nuova centralità del territorio e sviluppando in senso multifunzionale le politiche che tendono a incidere sulle sue trasformazioni. Questa evoluzione

non è casuale. Prende le mosse dal confronto fra gli elaborati Corine Land Cover 2006, 2000 e 1990, che ha chiarito le ricadute striscianti dei fenomeni parossistici di consumo del suolo: gli impatti dell'urbanizzazione cumulati su altri, più noti e puntuali fattori di degrado ambientale. Delinea un quadro problematico in cui l'Italia, con il suo triste primato di dissesti, riflette meglio che altrove anche gli effetti associati ai processi "minori" di frammentazione degli spazi rurali e aggressione dei margini di resilienza degli ecosistemi. Apre il dibattito sulle valenze trasversali degli approcci "non strutturali" alla difesa del suolo e sulle sinergie plurime che, proprio nell'ottica adattativa, si instaurano quando l'estensione delle reti ecologiche contribuisce all'orientamento delle scelte di riassetto e governo del territorio.

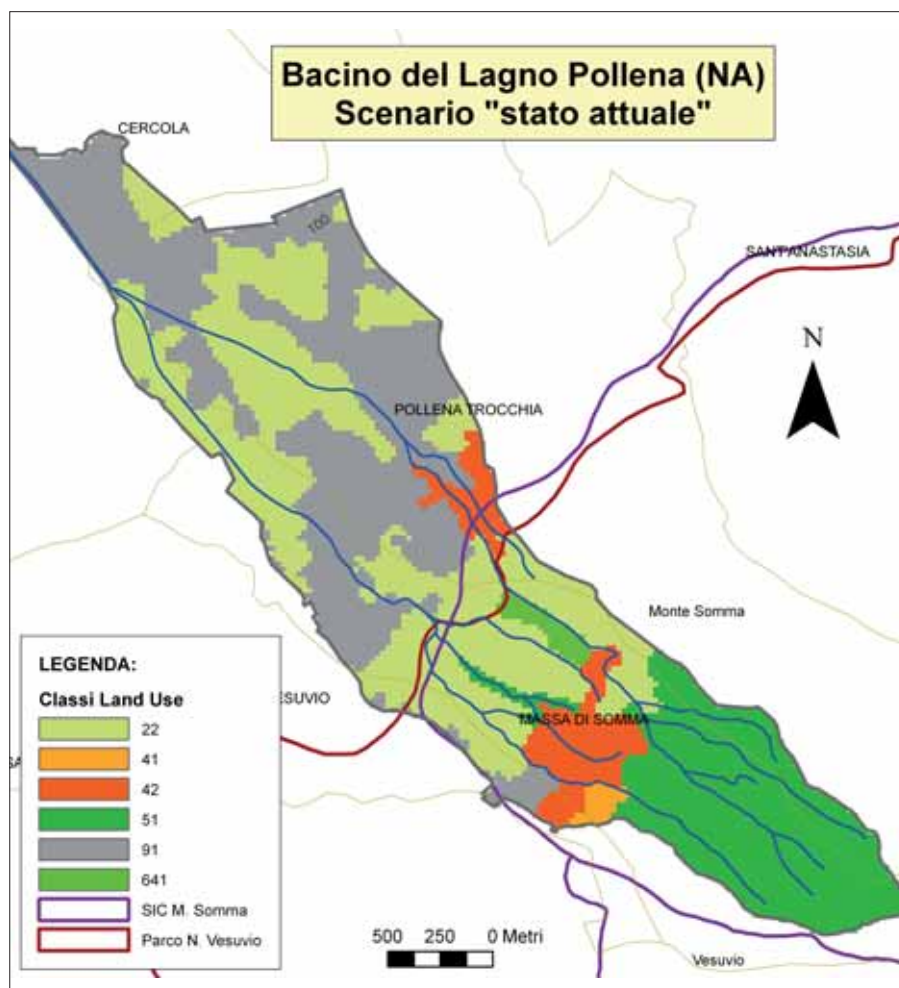


Figura 1 – Stato attuale. Elaborazioni da Regione Campania.

Legenda: Classi di uso dei suoli: 22) Frutteti e frutti minori; 41) Colture temporanee associate a colture permanenti; 42) Sistemi colturali e particellari complessi; 51) Boschi di latifoglie; 53) Boschi misti di conifere e latifoglie; 62) Cespuglieti e arbusteti; 72) Rocce nude ed affioramenti; 91) Ambiente urbanizzato e superfici artificiali; 220) Frutteti e frutti minori con buone pratiche agroambientali; 510) Boschi di latifoglie vicini al climax; 641) Aree a ricolonizzazione naturale; 910) Urbanizzato rinverdito in fascia ripariale

2. IL CASO STUDIO DEL BACINO VESUVIANO DEL POLLENA E LE SIMULAZIONI EFFETTUATE

Condotta allo scopo di studiare gli effetti dell'uso del suolo sulla generazione dei deflussi, la ricerca ha individuato il bacino scostante campione all'interno del territorio del Consorzio di Bonifica Napoli-Volla: il Lagno Pollena (4,8km² divisi nei comuni di Pollena Trocchia, Massa di Somma, Cercola, San Sebastiano al Vesuvio). La zona montuosa comprende il versante nord-occidentale del Monte Somma, coperto a partire dai 300m ca. di altitudine da boschi di latifoglie.

La Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo della Campania ha fornito la base per l'input di land use al software idrologico utilizzato per le simulazioni: il Topkapi, un modello afflussi-deflussi di tipo distribuito e a parametri fisicamente basati (Todini, 2001). Oltre al bosco – ca. il 20% della superficie del bacino – gli usi prevalenti sono l'urbanizzato e i frutteti, ciascuno con oltre un terzo della superficie complessiva. Fra gli altri input impiegati: il modello digitale del terreno, derivato dalla Carta Tecnica Regionale, con celle da 25x25m; la pedologia, proveniente dalla Carta dei Suoli della Provincia di Napoli.

Le simulazioni realizzate hanno riguardato i seguenti scenari di uso del suolo:

1. uno stato attuale, con land use come da cartografia CUAS sopra citata (Fig.1);

2. uno scenario "tutto bosco", di completo rimboscimento del bacino al di fuori delle aree urbanizzate; presupponendo inoltre la diffusione di boschi misti con abbondante presenza di essenze autoctone, in luogo dell'attuale prevalenza di castagni, caratterizzati da apparati radicali poco profondi, si è aumentata la corrispondente profondità del topsoil (lo strato più superficiale del terreno, quello interessato dalle radici della vegetazione e dove hanno luogo gli scambi idrici suolo-atmosfera e il deflusso subsuperficiale o ipodermico);
3. uno scenario "fasce ripariali rinaturate", in cui si è ipotizzato il rimboscimento delle fasce ripariali e il miglioramento della risposta idrologica degli urbanizzati posti in fascia ripariale (che presuppone il rinverdimento degli spazi rimasti liberi da edificato);
4. uno scenario "incremento bosco pedemontano", in cui si è ipotizzata l'espansione verso le basse quote del bosco alle pendici del Monte Somma;
5. uno scenario "bosco ripariale e pedemontano" (Fig.2), che associa rimboschimen-

to delle fasce ripariali (ma più strette che nello scenario 3) ed espansione del bosco alle pendici del Monte Somma (ma meno che nello scenario 4); urbanizzati in fascia ripariale trattati come nello scenario 3; lo scenario come i due precedenti comporta all'incirca il raddoppio del bosco attuale;

6. un gruppo di scenari di incremento parallelo del bosco e dell'urbanizzato; i due usi sortiscono effetti idrologici opposti: per indagare l'andamento dei risultati variandone la combinazione, negli scenari 4 e 5 si è ipotizzato che tutti gli usi diversi dal bosco (e dall'urbanizzato in fascia ripariale) passassero all'urbanizzato (6a e 6b); uno scenario meno drastico prevede che la situazione dello scenario 5 cambi con il passaggio delle coperture a particellare complesso e di alcune di quelle a frutteto a urbanizzato, in modo che questo aumenti di quasi un quarto (6c).

Negli scenari da 3 a 6 si assume che la profondità del suolo sottostante i boschi valga come nello scenario 2, e che sussista un miglioramento della risposta idrologica dei frutteti.

Per ogni scenario le simulazioni sono state effettuate su una base pluviometrica registrata (di durata 14 mesi), con inserimento di due eventi sintetici di uguale intensità e durata (calcolati come da procedura standard "CNR VAPI" – Rossi e Villani, 1994), ma in condizioni di umidità iniziale dei suoli differenti, ovvero rispettivamente "umide" – con contenuto d'acqua medio nei suoli del bacino del 97% rispetto a saturazione – e "asciutte" – con contenuto d'acqua medio del 70% ca.; le durate considerate sono state da 1 a 6 ore, in modo da includere sempre l'evento di durata critica, che produce il picco di portata più elevato; i tempi di ritorno prescelti sono stati 5 e 50 anni, allo scopo di studiare gli effetti di precipitazioni intense sia relativamente frequenti – le quinquennali – sia relativamente eccezionali – le cinquantennali – ma pur sempre commisurate alla rilevanza del contesto territoriale del bacino campione. In Figg.3 e 4 sono riportati gli idrogrammi di piena critici relativi ai vari scenari nelle situazioni di pioggia cinquantennale su suoli umidi e pioggia quinquennale su suoli asciutti.

Lo scenario di completo rimboscimento ha più che altro valenza di limite estremo del beneficio conseguibile in termini di riduzione dei colmi di piena agendo sull'uso del suolo. Dunque, se si aumentasse dal 20 al 65% la superficie a bosco di un piccolo bacino scostante vesuviano, le portate massime nell'asta principale conseguenti a piogge con tempo di ritorno 5 e 50 anni si ridurrebbero di un 14 e un 12% rispettivamente; ben maggiori sarebbero le riduzioni – attorno a un quarto della portata di stato attuale – se i suoli del bacino si trovassero in condizioni di umidità a inizio precipitazione inferiore, ovvero significativamente lontani dalla saturazione, come è lecito assumere quando si studiano le piene più frequenti e meno estreme.

Gli altri tre scenari migliorativi (3, 4 e 5) hanno invece un respiro più concretamente pianificatorio, visto che propongono "solo" il raddoppio della superficie a bosco. Lo scarto tra i tre appare invero modesto: in condizioni di suoli quasi saturi a inizio precipitazione (le riduzioni di portata si aggirano sul 10-11% rispetto allo stato attuale) si comporta un po' meglio il rimboscimento della fascia pedemontana, mentre le fasce ripariali rimboschite danno decisamente miglior prova di sé negli eventi su suoli meno umidi (riduzioni rispetto all'attuale del 10-11% contro 6% per il bosco pedemontano con pioggia cinquantennale, del 7-8% contro 1% con pioggia quinquennale).

Quanto agli scenari che prevedono, accanto al miglioramento e all'incremento del bosco, anche l'espansione delle aree urbane (6a, 6b e 6c), il confronto con lo stato attuale offre un panorama variegato: in linea gene-

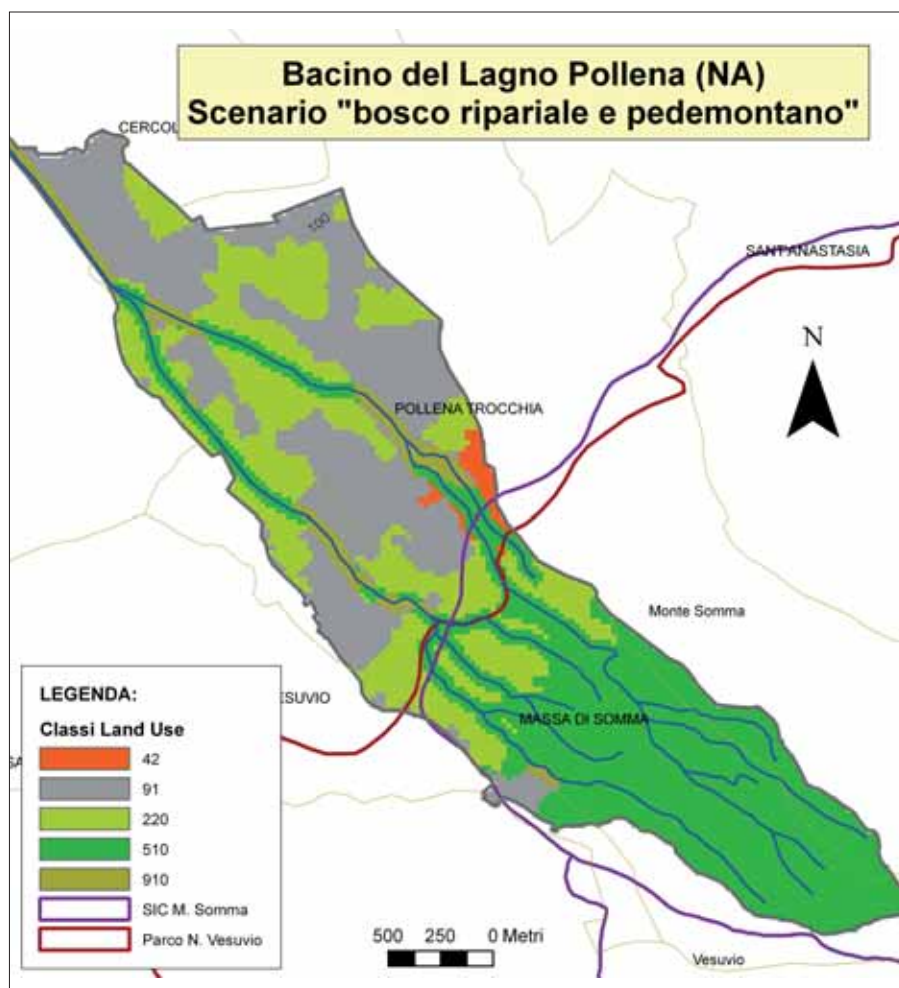


Figura 2 – Scenario 5) "Bosco ripariale e pedemontano".

Legenda: Classi di uso dei suoli: 22) Frutteti e frutti minori; 41) Colture temporanee associate a colture permanenti; 42) Sistemi culturali e particellari complessi; 51) Boschi di latifoglie; 53) Boschi misti di conifere e latifoglie; 62) Cespuglieti e arbusteti; 72) Rocce nude ed affioramenti; 91) Ambiente urbanizzato e superfici artificiali; 220) Frutteti e frutti minori con buone pratiche agroambientali; 510) Boschi di latifoglie vicini al climax; 641) Aree a ricolonizzazione naturale; 910) Urbanizzato rinverdito in fascia ripariale

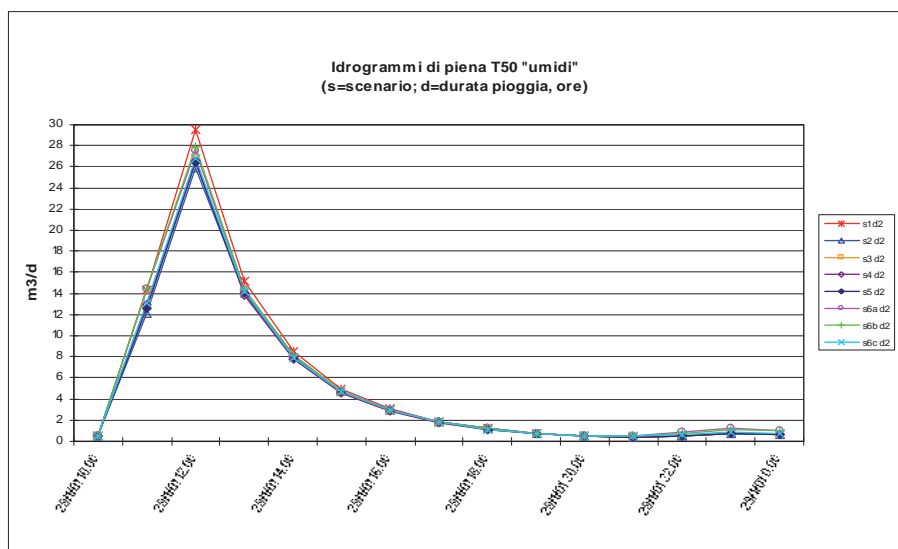


Figura 3 – Idrogrammi di piena T=50, suoli "umidi".

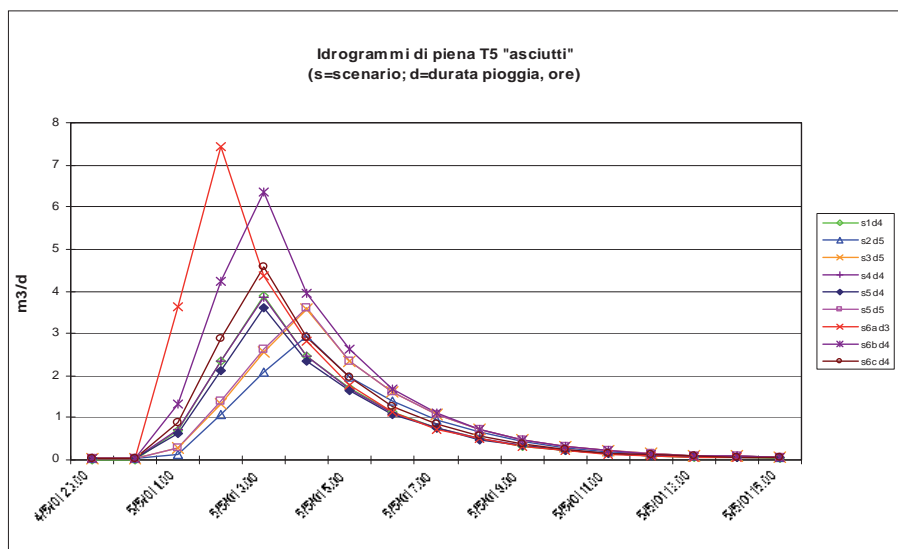


Figura 4 – Idrogrammi di piena T=5, suoli "asciutti".

sintetica – come percentuale di celle sature sul bacino – sia in forma di mappe – come livello di umidità di ogni cella del bacino "fotografato" in istanti prefissati. Nel caso esaminato l'umidità dei suoli è un parametro importante, in quanto la saturazione del suolo può determinare, per l'area del Vesuvio caratterizzata da una copertura detritico-piroclastica poggiata su un substrato lavico roccioso, una riduzione della stabilità del versante; senza contare l'effetto di impulso ai fenomeni di ruscellamento superficiale, con annessa possibilità di erosione.

In Tab.1 sono riportati i risultati di una prima analisi, effettuata sul numero di celle del bacino del Pollena che raggiungono la saturazione al termine delle precipitazioni sintetiche che hanno costituito l'oggetto delle simulazioni degli eventi di piena. Si possono formulare le seguenti osservazioni:

- le piogge critiche diventano stabilmente – in relazione al parametro "percentuale di celle sature" – quelle di maggiore durata;
- le piogge su suoli già molto umidi (si ricorda che anche se le celle sature sono all'inizio "solo" il 30% ca., l'umidità media del bacino, vale a inizio evento ben il 97%) provocano differenze intermedie di comportamento tra i vari scenari (ovvero, in relazione al parametro "land use"), ancor più modeste tra i tempi di ritorno (ovvero, in relazione al parametro "quantità di pioggia"); la comune tendenza è verso la completa saturazione del bacino;
- le piogge su suoli più asciutti a frequenza quinquennale producono una sostanziale identità nel comportamento medio del bacino: evidentemente, gli afflussi non sono di entità tale da far scattare i benefici degli scenari migliorativi;
- le più significative sono le piogge cinquantennali su suoli asciutti: qui si dispiegano al meglio gli effetti dei rimboschimenti e delle altre migliorie prospettate: fino a oltre 18 punti separano la percentuale di celle sature propria di quegli scenari da quella di stato attuale; per questo motivo

rale, le portate massime tendono a diminuire negli eventi su suoli molto umidi (il 6% ca. con tempo di ritorno 50 anni, il 2-3% a 5 anni, per i due scenari a urbanizzazione più spinta; l'8-10% per lo scenario a 42% di urbanizzato, il cui comportamento appare qui non dissimile dallo scenario 3 di rimboschimento delle fasce ripariali); aumentano invece negli eventi su suoli meno umidi (anche di molto: a 50 anni, +40-54% negli scenari spinti, +5% in quello intermedio; a 5 anni, +65-92% negli scenari spinti, +19% in quello intermedio). Insomma, il bosco (unitamente al rinverdimento dell'urbanizzato in fascia ripariale) "compensa" bene l'urbanizzazione nei più gravosi eventi su suoli già quasi saturi, mentre la scarsa capacità di immagazzinamento dei suoli delle aree urbane prevale negli altri eventi.

3. CONTRIBUTO ALLE RIFLESSIONI SULL'IDROLOGIA DEI VERSANTI

L'uso del suolo non influisce solo sull'idrologia dei corsi d'acqua che drenano un dato bacino: come evidenziato nella relazione illu-

strativa del progetto "Uso del suolo come difesa" (CERAFRI, 2007), l'influenza si estende a tutto l'assetto idrogeologico, in special modo ai fenomeni di erosione e di innesco delle frane, di solito localizzati nelle zone in pendenza.

Il modello Topkapi fornisce, tra i suoi output, informazioni che possono riuscire utili in queste valutazioni, come il livello di umidità dei suoli, che il modello produce sia in forma

Tab.1 – Confronto tra eventi piovosi critici: percentuale di celle del modello sature (T= tempo di ritorno in anni, d= durata in ore, u/a= umidità iniziale – umido/asciutto)

Simulazione	Scenario	Inizio	Fine	Scenario	Inizio	Fine
T50-d6-u		30,82	99,75		29,60	92,87
T5-d6-u	1	30,82	98,26	3	29,60	90,16
T50-d6-a		0,00	79,44		0,01	62,31
T5-d6-a		0,00	44,71		0,01	43,66
T50-d6-u		31,29	92,54		30,30	92,65
T5-d6-u	4	31,29	89,56	5	30,30	89,76
T50-d6-a		0,12	60,99		0,08	62,29
T5-d6-a		0,12	43,19		0,08	43,22

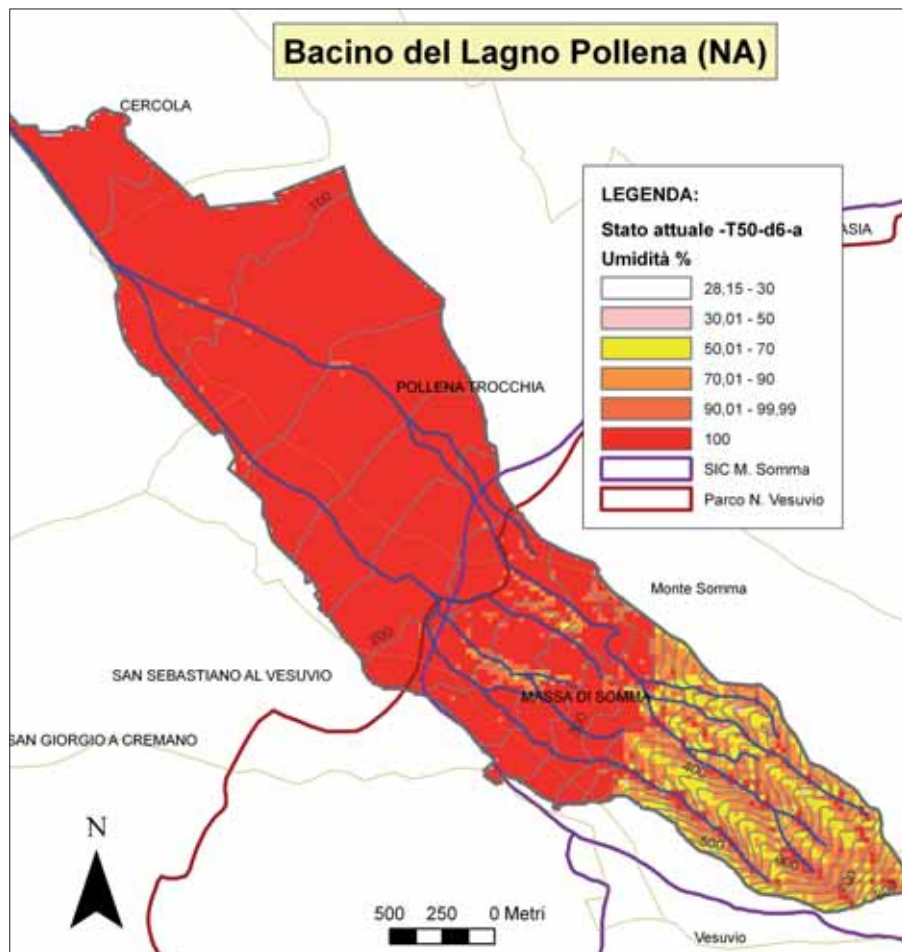


Figura 5 – Umidità dei suoli nello Stato attuale.

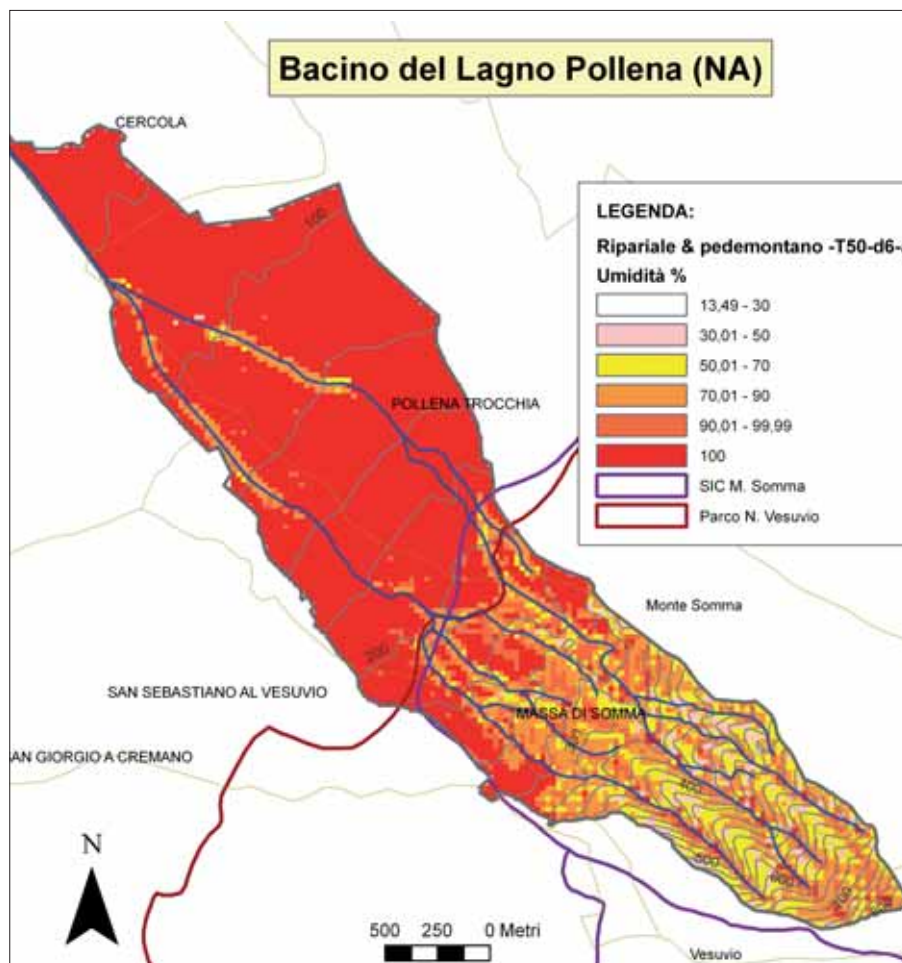


Figura 6 – Umidità dei suoli nello Scenario 5).

si è concentrato il prosieguo dell'analisi su questo gruppo di eventi.

Nelle Figg.5 e 6 sono rappresentate le mappe dei livelli di umidità raggiunti nel bacino del Pollena al termine dell'evento cinquantennale di 6 ore su suoli inizialmente asciutti, per gli scenari 1 e 5. La Tab.2 riporta la ripartizione percentuale per fasce di umidità delle celle già originariamente a bosco e poste a quota superiore a 300m (in tal modo si raffrontano aree aventi la medesima superficie e la medesima classe di land use in tutti gli scenari). Emergono alcune indicazioni significative:

- nello scenario di stato attuale gran parte del bacino è in condizioni di saturazione; fa eccezione la sezione montana (oltre i 275-300m di quota), dove le celle sature si rinvergono in alcuni punti degli impluvi, mentre sui displuvi prevale la classe di umidità 50-70% e sui versanti la classe 70-90%;
- nello scenario "bosco ripariale e pedemontano" le celle soggette a rimboscimento lungo i corsi d'acqua vedono diminuire il proprio livello di umidità; nella fascia pedemontana (fino ai 250m di altitudine) la massiccia presenza di bosco fa sì che, pur riscontrandosi livelli di umidità superiori rispetto alla zona montana (in effetti la fascia pedemontana funge un po' da volume di invaso per i deflussi che scendono velocemente dai ripidi versanti sovrastanti) le aree sature siano praticamente circoscritte agli urbanizzati e la classe prevalente sia la 70-90%; nella sezione montana già quasi completamente boscata, le diminuzioni di umidità sono dovute all'ipotesi di miglioramento della qualità dei soprassuoli (con conseguente aumento della profondità degli apparati radicali): negli impluvi ora le celle sature si rinvergono solo sporadicamente, sui displuvi compare diffusamente la classe 30-50%, sui versanti prevalgono le classi 50-70% alla sommità e 70-90% al piede;
- la Tab.2 mostra che l'umidità delle aree montane a bosco è svincolata da quel che succede a valle: i tre scenari migliorativi registrano praticamente la stessa situazione, mentre lo stato attuale risulta più umido a causa del minore spessore dei suoi suoli.

Per completare il quadro delle possibili ripercussioni degli eventi meteorici intensi sulla stabilità dei versanti, è utile incrociare le mappe ora presentate con la cartografia della pericolosità da frana predisposta dall'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania in sede di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (AdB, 2010). Le aree ad elevata suscettibilità all'innescio vi appaiono concentrate quasi sempre al di sopra dell'isoi-

Tab.2 – Confronto tra scenari (evento T=50 anni, d=6 ore, suoli “asciutti”): celle a bosco e a quota >300m slm ripartite per fasce di umidità del suolo

Classe di umidità, %	Scenario 1	Scenario 3	Scenari 4 e 5
<50	0,68%	11,26%	11,26%
50-70	26,83%	34,33%	34,33%
70-90	43,62%	37,13%	37,13%
90-99,99	18,91%	12,42%	12,35%
100	9,97%	4,85%	4,91%

psa 300m slm; le criticità corrispondono ai ripidi valloni che si originano a quote all'incirca 100-200m più basse del crinale del Somma. In fascia pedemontana, invece, la suscettibilità all'innesco è prevalentemente bassa, se non nulla. Se ne conclude dunque che:

- appare prioritario assicurare la massima diffusione e la qualità idrogeologica ottimale dei soprassuoli boscati sui versanti del Monte Somma-Vesuvio, favorendo lo sviluppo dei boschi misti di essenze autoctone con abbondante presenza di specie quercine, dotate di radici profonde altamente stabilizzanti;
- è opportuno promuovere lo stesso tipo di coperture anche nella fascia pedemontana; pur caratterizzata da pendenze inferiori e quindi da bassa suscettibilità all'innesco di frane, funge da area tampone tra i ripidi versanti a monte e la pianura intensamente urbanizzata e quindi altamente vulnerabile: infatti gli impluvi in questa fascia sono quasi tutti classificati ad alta pericolosità – essenzialmente da transito e invasione di frane.

4. CONCLUSIONI

I risultati delle simulazioni permettono in parte di rivisitare i termini delle strategie territoriali e ambientali:

- oltre una certa soglia - stimata in letteratura attorno al 40% - l'urbanizzazione l'unica determinante fondamentale delle portate di piena; le nostre analisi mostrano che il parallelo miglioramento dei boschi e dell'urbano ripariale consente un buon mantenimento della risposta nelle piene gravose, ma nulla può contro il proliferare delle piene intermedie;
- la rispettiva estensione delle coperture vegetazionali (percentuali di bosco, coltivo arborato, particellare) costituisce una variabile significativa;
- la qualità delle medesime è forse ancora più importante (soprassuoli boscati vicini o tendenti al climax, coltivati specialmente arborati rispettosi delle buone pratiche agroambientali, spazi liberi all'interno dell'urbanizzato rinverditi);
- la localizzazione dei suoli in grado di assorbire gli apporti meteorici (come

dimostrano in particolare lo scenario di rimboschimento dei versanti ovvero delle fasce ripariali) ha una precisa influenza sulla formazione dell'onda di piena;

- le condizioni di umidità dei suoli all'inizio degli eventi costituiscono un fattore importante nella risposta agli apporti meteorici;
- a fronte dei risultati spesso non lineari restituiti dal modello, la soluzione ottimale per fronteggiare eventi di diversa frequenza e intensità, oltre che per affrontare contestualmente il rischio frana – anche in previsione di un'ulteriore espansione delle aree urbanizzate – richiede un mix nelle scelte d'uso e di localizzazione dei terreni, soprattutto quelli a bosco possibilmente misto.

La ricerca sul Lago Pollena suggerisce l'opportunità di una strategia diffusa di mitigazione della vulnerabilità e di prevenzione del rischio, che restituisca nel contempo al territorio un assetto di maggior pregio ambientale: la chiave di volta è l'elevata qualità dei soprassuoli, specie se boscati, con ampia presenza di essenze autoctone, adattate alla tipologia dei terreni e alle condizioni microclimatiche.

Attualmente l'area è caratterizzata da una zona protetta di grande valore, il parco del Vesuvio, ma anche da una condizione di rischio crescente con l'espandersi dell'urbanizzato, da un'agricoltura di medio versante sofferente e destinata all'abbandono, con le impattanti eccezioni di castagni e nocciolati: uno stato che, se anche dovessero arrestarsi i fenomeni in corso, probabilmente non muterebbe i livelli di rischio e degrado ad esso associati. Per orientare questa evoluzione tendenziale, peraltro comune a molte aree del Paese, nel senso positivo del riassetto e della riqualificazione ambientale, servirebbe quell'approccio alle politiche di settore integrato sul piano territoriale, indicato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente: una strategia mirata a sviluppare la locale rete ecologica lungo i corridoi di connessione offerti dal reticolo idrografico, convertendo le campagne dismesse in aree tampone e favorendo in quelle produttive la riattivazione delle funzionalità ecosistemiche; il supporto congiunto di inter-

venti di rinaturazione dei boschi esistenti, di tutela delle aree vegetate in evoluzione spontanea confinanti con il parco, di localizzazione prioritaria degli aiuti allo Sviluppo Rurale dove maggiori sono i benefici per il contenimento del rischio; il recupero degli ambienti fluviali e la valorizzazione dei mosaici agrari storici e di interesse paesistico; una visione integrata di processo che lo strumento della Valutazione Ambientale Strategica può garantire, attivando un percorso unitario e collaborativo di costruzione degli obiettivi, in grado di ricondurre a coerenza le competenze delle diverse amministrazioni coinvolte.

Se l'Unione Europea darà corso ai principi enunciati dalla COM 2011/244, la “dimensione territoriale del riassetto” potrebbe divenire una scelta obbligata già a partire dai finanziamenti strutturali del periodo 2013-2020.

BIBLIOGRAFIA

- AGENZIA EUROPEA PER L'AMBIENTE (2010), *The European Environment: State and Outlook*, SOER 2010, EEA.
- AUTORITÀ DI BACINO REGIONALE NORD OCCIDENTALE DELLA CAMPANIA (2010), *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*, Burc 20 dicembre 2010.
- CERAFRI, IMONT, CONSORZIO DI BONIFICA DELLE PALUDI DI NAPOLI E VOLLA (2007), *Progetto “Usa del suolo come difesa”*: Relazione illustrativa.
- COM (2011) 17 DEF (26/1/2011), *Il contributo della politica regionale alla crescita sostenibile nel contesto della strategia Europa 2020*, Bruxelles.
- COM (2011) 244 DEF (3/5/2011), *La nostra assicurazione sulla vita, il nostro capitale naturale: strategia dell'UE sulla biodiversità fino al 2020*, Bruxelles.
- ROSSI F., VILLANI P. (1994), *Valutazione delle piene in Campania*, CNR-GNDCI Perugia.
- TODINI E. ET AL. (2001), *The TOPKAPI model*. In: V. P. SINGH et al., *Mathematical models of large watershed hydrology*, Water Resources Pub. Usa.

Un grande movimento franoso in alto Molise: la frana di “Colle Lapponi - Piano Ovetta” nel comune di Agnone (IS)

MAURO SALZANO
Geologo; Dottore di ricerca in Ambiente e Territorio

PREMESSA

Nella zona rurale del Comune di Agnone denominata “Colle Lapponi – Piano Ovetta” (Fig. 1; Fig. 1a) ubicata a ovest rispetto al centro abitato, (Fig. 2; Fig. 3) un grande movimento franoso si verificò a fine gennaio 2003; successivamente a metà marzo 2004 si riattivò. Le conseguenze furono gravi: alcune strade risultarono interrotte e numerose ordinanze di sgombero dei fabbricati, furono emesse, dal sindaco di Agnone.

L'EVENTO METEORICO DEL MESE DI GENNAIO 2003

A fine gennaio 2003 la regione Molise fu interessata da abbondanti nevicate nell'area nord-occidentale e piogge nell'area centrale e nord-orientale.

Il regime annuale delle piogge è caratterizzato da due picchi, il primo più cospicuo nel periodo di novembre-dicembre ed il secondo tra la stagione invernale e primaverile, con afflusso meteorico medio annuo di circa 750 mm; l'evento del mese di gennaio 2003 non si presentò con un'intensità elevata ma si caratterizzò per la sua durata e per il totale delle precipitazioni (Aucelli *et alii*, 2004).

Notevoli furono gli effetti sul territorio, con erosione idrica e fenomeni franosi. L'evento comunque non si manifestò sulla regione Molise in modo uniforme.

In particolare al di sopra dei 900-1000 m s.l.m. le precipitazioni si manifestarono con carattere nevoso mentre in altre zone come quella di Agnone (850 m s.l.m.) ci fu pioggia prevalentemente. I settori maggiormente colpiti dei bacini idrografici del Trigno, Biferno e Fortore, furono quelli compresi tra 400 e 900 metri, per la prevalenza di litotipi pelitici, dotati di scadenti proprietà meccaniche e per la presenza di versanti acclivi (Berti *et alii*, 2003).

CONSEGUENZE PRINCIPALI

In più del 12% del territorio molisano si superano i 200 mm di pioggia mentre si superano i 150 mm sul 34% del territorio (Aucelli *et alii*, 2004). 70 Comuni su 136 subirono dissesti, gli stessi autori stimarono che più del 50% del territorio regionale fu interessato da frane superficiali e profonde.



Figura 1 – Veduta della zona che comprende la frana.

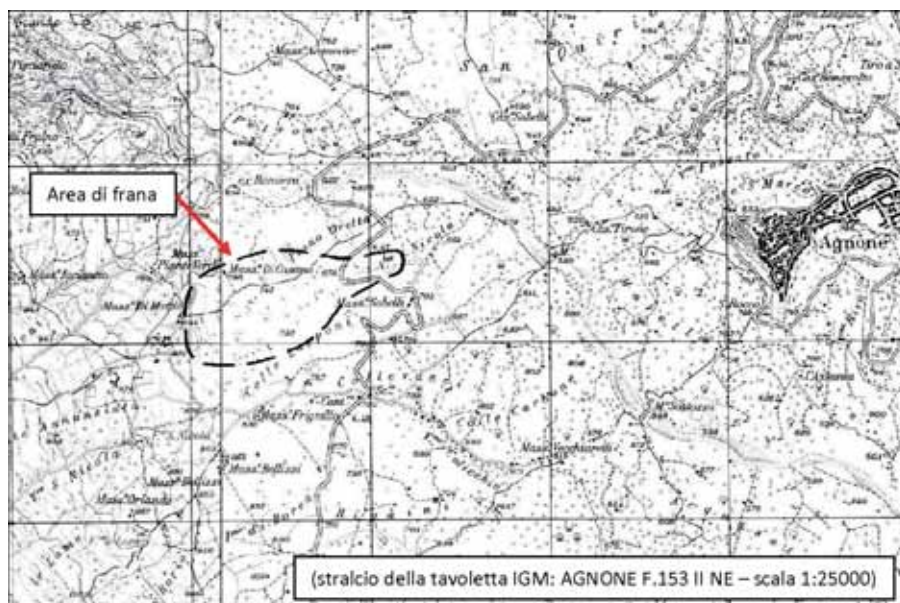


Figura 1a – Area di frana in zona rurale “Colle Lapponi - Piano Ovetta”.



Figura 2 – Zona di Frana vista dal centro abitato di Agnone prima dell'evento franoso.



Figura 3 – Particolare.



Figura 4 – 1° Fase attivazione della frana (fine Gennaio 2003).

Tali frane interessarono prevalentemente versanti sui litotipi prevalentemente pelitici e con pendenze anche molto basse ($<10^\circ$). Le tipologie di frana più frequenti furono lo scorrimento traslativo e soprattutto la colata.

INQUADRAMENTO GEO-LITOLOGICO DELLA ZONA

Le successioni affioranti vengono ricondotte ad un ambiente pelagico: il "Bacino Molisano", ubicato tra la piattaforma carbonatica appenninica, in corrispondenza del Matese, e la piattaforma apula (Salzano, 1997). La geologia di questo settore dell'Appennino Molisano mette in evidenza la tettonica di sovrascorrimento (*thrust*) secondo diverse direttrici, con presenza di strutture compressive. Le unità molisane, largamente affioranti, secondo i più recenti studi sono costituite prima da sedimenti di bacino, seguiti da quelli di rampa carbonatica ed, infine, da quelli avanfossa depositi presumibilmente dall'Oligocene fino al Messiniano basale e attualmente strutturati in un insieme complesso di sovrascorrimenti.

In particolare, le unità molisane sono caratterizzate da una successione costituita da "argille varicolori" con radiolariti, attribuite all'Oligocene inferiore. Seguono calcari marnosi e marne. Questi precedono la sedimentazione silicoclastica: Flysch di Agnone, di avanfossa, riferita al Messiniano inferiore. Tali unità sono dette coltri alloctone; esse sono sovrascorse sui depositi terrigeni generalmente pliocenici a loro volta sovrapposti a successioni carbonatiche della piattaforma carbonatica apula. Il livello preferenziale di scollamento di queste unità tettoniche è costituito dalle argille varicolori.



Figura 5 – La colata raggiunge il ponte San Nicola della ex S.S. 86 Istonia.



Figura 6 – 2° Fase: riattivazione della frana (metà Marzo 2004).



Figura 7 – Settore a NNW della frana ove si riscontra il secondo grosso cedimento.

Il Comune di Agnone rientra nel foglio n.153 della Carta Geologica d'Italia. La formazione geologica in posto, di natura sedimentaria, è un deposito alto miocenico terrigeno silicoclastico, in facies torbiditica, chiamato nella letteratura geologica ufficiale "Flisch di Agnone".

Tra le *facies* terrigene che lo costituiscono, dal rilevamento superficiale, affiora nell'area in esame l'associazione pelitico-arenacea. Tale associazione basale è una facies sempre caratterizzata da regolarità e parallelismo delle superfici di stratificazione; lo spessore degli strati è comunque estremamente variabile (Salzano, 2000). Sotto il profilo tettonico, la formazione flischioide in esame ha risentito soprattutto di movimenti traslativi. Ciò ha provocato lo scompaginamento della frazione pelitica (prevalentemente argilloso-marnosa) e la fatturazione degli strati litoidi (arenacei e marnosi). Il suolo che ne deriva ha una composizione granulometrica argillo-limoso-sabbiosa; lo spessore è variabile a seconda delle pendenze e della copertura vegetale; lo scheletro è presente in quantità scarsa.

LA FRANA DI COLLE LAPPONI-PIANO OVETTA NEL COMUNE DI AGNONE

Il Comune di Agnone è costituito da un centro abitato principale e da piccole frazioni rurali sparse su un vasto territorio, con attività in prevalenza agricole.

L'abbandono delle campagne e pertanto delle tradizionali opere di manutenzione del territorio associate a quelle di regimentazione delle acque superficiali, ha fatto venir meno quell'azione fondamentale di tutela del ter-



Figura 8 – Il ponte San Nicola poco prima di essere totalmente ricoperto dalla colata.



Figura 9 – Ponte San Nicola totalmente ricoperto dalla colata.



Figura 10 – La colata seguendo il vallone San Nicola, si dirige verso la sottostante confluenza con il "Torrente Verrino".

ritorio. L'area in esame è caratterizzata da fenomeni franosi con scorrimenti rotazionali e traslazionali nella parte alta del vallone San Nicola, mentre verso la parte medio-bassa, questi si manifestarono soprattutto sotto forma di colate.

La viabilità interpodereale è stata fortemente danneggiata creando notevoli disagi alle attività produttive e agricole della zona. Nella "prima fase" di attivazione del movimento franoso (fine gennaio 2003) la colata percorse il vallone San Nicola per gran parte del suo sviluppo (Fig. 4), raggiungendo il ponte San Nicola (Fig. 5) in un tratto della ex S.S. 86 Istonia dismessa dall'ANAS.

Quasi totalmente distrutta è stata la strada interpodereale "Piano Ovetta" che si sviluppava entro l'area di frana ed in potenziale pericolo si è trovato il gruppo di fabbricati rurali più prossimi alla frana stessa, denominati: "Masserie di Cosimo"; "Masserie Di Mattia". Quando il movimento franoso si riattivò a metà marzo 2004 (Fig. 6), nel settore a NNW della frana si riscontrò un secondo grande cedimento (Fig. 7); il ponte San Nicola fu totalmente ricoperto dalla colata (Fig. 8) e, di conseguenza, anche la circolazione sulla ex strada statale si interruppe.

L'area antistante la cosiddetta "Casa Rosa" presentò chiari segni di cedimento, mettendola a rischio. Il fronte della frana incanalatosi nell'alveo del vallone San Nicola (Fig. 9) si avvicinò verso la confluenza con il torrente Verrino (Fig. 10), corso d'acqua principale della zona. Ciò provocò molte preoccupazioni per le conseguenze dell'eventuale sbarramento del Verrino stesso. Per fortuna il fronte della frana si arrestò prima della confluenza a circa 400 metri. Numerose furono le ordinanze di sgombero, emesse dal Sindaco di Agnone, delle abitazioni più prossime alla frana. Dopo una serie di interventi, il movimento franoso attualmente sembra in una fase di stabilità.

BIBLIOGRAFIA

- AUCELLI P.P.C., IZZO M., MAZZARELLA A., ROSSKOPF C.M., RUSSO M. (2004), *L'evento meteorico estremo di gennaio 2003*, Quaderni di geologia applicata 11-1 (2004).
- BERTI D., GUARNERI E.M., SILVESTI S. (2003), *L'evento alluvionale del 23-27 gennaio nella Regione Molise (Rapporto APAT)*.
- SALZANO M. (1997), *La tendenza al franamento nel bacino molisano in rapporto alle formazioni strutturalmente complesse affioranti: argille varicolori*, Flisch, Accademia Nazionale dei Lincei, Atti convegni lincei, 135, La stabilità del suolo in Italia: Zonazione sismica-frane.
- SALZANO M. (2000), *Caratteristiche geologico tecniche e ambientali della comunità montana "Alto Molise" (Agnone - IS)*. Il Piano di Sviluppo Socio Economico; aggiornamento per il quinquennio 2001-2005. ECOTER s.r.l. (Ricerca e progettazione economica e territoriale - Roma).

La **SIGEA** è un'associazione culturale senza fini di lucro, riconosciuta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come "associazione nazionale di protezione ambientale a carattere nazionale" con decreto 24 maggio 2007 (G.U. n. 127 del 4/6/2007). Agisce per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra nella protezione della salute e nella sicurezza dell'uomo, nella salvaguardia della qualità dell'ambiente naturale e antropizzato e nell'utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse.

È aperta non solo ai geologi, bensì a tutte le persone e gli enti che hanno interesse alla migliore conoscenza e tutela dell'ambiente.

La SIGEA è stata costituita nel maggio 1992 a Roma da 19 Soci fondatori (geologi, ingegneri, architetti, geografi) esperti o cultori di Geologia Ambientale; conta oggi più di 800 iscritti.

Possono far parte della SIGEA, in qualità di soci, persone fisiche o persone giuridiche. I soci appartengono a enti pubblici e privati o sono liberi professionisti.

Cosa fa SIGEA

- **favorisce** il progresso, la valorizzazione e la diffusione della Geologia Ambientale, mediante gli "eventi" sotto riportati, la rivista trimestrale «Geologia dell'Ambiente» e il sito web;
- **promuove** il coordinamento e la collaborazione interdisciplinare nelle attività conoscitive e applicative rivolte alla conoscenza e tutela ambientale; per questo scopo ha costituito le aree tematiche "Patrimonio Geologico" e "Dissesto Idrogeologico";
- **opera** sull'intero territorio nazionale nei settori dell'educazione e divulgazione, della formazione professionale, della ricerca applicata, della protezione civile e in altri settori correlati con le suddette finalità, attivandosi anche mediante le sue sezioni regionali;
- **organizza** corsi, convegni, escursioni di studio, interventi sui mezzi di comunicazione di massa;
- **svolge attività di divulgazione scientifica in vari campi di interesse della Geologia Ambientale, fra cui la conservazione del Patrimonio Geologico:** ad esempio ha organizzato il 2° Symposium internazionale sui geotopi tenutosi a Roma nel maggio 1996 e altri convegni sul ruolo della geologia nella protezione della natura; inoltre collabora con l'associazione internazionale ProGEO (European association for conservation of geological heritage) per svolgere studi, censimenti e valorizzazione dei geositi e per creare collaborazioni con altre realtà europee afferenti a ProGEO;
- **svolge attività di formazione:** organizza corsi e convegni di aggiornamento professionale o di divulgazione su tematiche ambientali, quali previsione, prevenzione e riduzione dei rischi geologici, gestione dei rifiuti, bonifica siti contaminati, studi d'impatto ambientale, tutela delle risorse geologiche e del patrimonio geologico, geologia urbana, pianificazione territoriale, ecc.; inoltre rende disponibili per i soci audiovisivi e pubblicazioni dei convegni SIGEA;
- **informa** attraverso il periodico trimestrale "Geologia dell'Ambiente", che approfondisce e diffonde argomenti di carattere tecnico-scientifico su tematiche geoambientali di rilevanza nazionale e internazionale. La rivista è distribuita in abbonamento postale ai soci e a enti pubblici e privati;
- **interviene** sui mezzi di comunicazione di massa, attraverso propri comunicati stampa, sui problemi attuali che coinvolgono l'ambiente geologico;
- **collabora con altre associazioni** per lo sviluppo delle citate attività, in particolare nella educazione, informazione e formazione ambientale: con CATAP (Coordinamento delle associazioni tecnico-scientifiche per l'ambiente e il paesaggio) cui SIGEA aderisce, Associazione Idrotecnica Italiana, Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali, Italia Nostra, Legambiente, WWF, ProGEO, ecc.



Società Italiana di Geologia Ambientale

Casella Postale 2449 U.P. Roma 158

Tel./fax 06 5943344

E-mail: info@sigeaweb.it

<http://www.sigeaweb.it>