

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



Supplemento al n. 1/2012

ISSN 1591-5352

Atti del workshop

Erosione costiera in siti di interesse archeologico

Isola del Lazzaretto Nuovo, Venezia, 2 - 3 ottobre 2010

Patrocini

Ministero per i Beni e le Attività
Culturali

Magistrato alle Acque di Venezia

Regione Veneto

Provincia di Venezia

Comune di Venezia

ISPRA

UPI

ANCI Veneto

CMAS

FIPSAS

GNRAC

Ordine dei Geologi della Regione

Veneto

Archeologia Viva

AIQUA

Comitato scientifico

Federico Boccalaro

Aldino Bondesan

Paolo Caputo

Luigi Fozzati

Vincenzo Landi

Rosario Santanastasio

Comitato Organizzativo

Gerolamo Fazzini

Luca Garbato

Andrea Vitturi

Come raggiungere l'isola

www.lazzarettonuovo.com



Sarà rilasciato attestato di partecipazione. È stata richiesta validità ai fini APC.

(Circolare n° 271/2007, Consiglio Nazionale dei Geologi)



Centro Stampa
Provincia di Venezia



MARENOSTRUM



ARCHEOCLUB
D'ITALIA



SOCIETÀ
ITALIANA
DI GEOLOGIA
AMBIENTALE



WORKSHOP

EROSIONE COSTIERA IN SITI DI INTERESSE ARCHEOLOGICO

2 - 3 ottobre 2010

Isola del Lazzaretto Nuovo
VENEZIA - Laguna Nord

INFO www.lazzarettonuovo.com



Immagine di copertina di Giorgio Merighi

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale

Supplemento al n. 1/2012
Anno XX - gennaio-marzo 2012

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

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

Erosione costiera in siti di importanza archeologica 2
GEROLAMO FAZZINI

Modificazione della linea di costa nel golfo di Napoli
e Pozzuoli durante il periodo storico 3
PAOLO CAPUTO, FRANCO ORTOLANI, ROSARIO SANTANASTASIO

Erosione costiera e monumenti archeologici in Calabria 8
GIOACCHINO LENA, SIMONETTA BONOMI

L'impatto della dinamica costiera sulla conservazione
del patrimonio culturale. I casi del sito archeologico
di Egnazia e dell'isola di San Nicola (Puglia) 14
ROSA PAGLIARULO

Buone pratiche di ingegneria ambientale costiera 18
FEDERICO BOCCALARO

Utilizzo di contenitori in materiali geosintetici riempiti
di sabbia per la protezione di strutture archeologiche
sommerse 29
PIER LUIGI AMINTI, LUCA CAPPUCCINI

Analisi ambientale per il consolidamento della collina
di Camarina e il restauro arqueo-naturalistico del fiume
Hipparis 32
GIANLUIGI PIRRERA, VERA GRECO

Co-evoluzione di società e ambiente nella Laguna
di Venezia. Accrescimento o erosione? 36
GIOVANNI CECCONI, CLAUDIA CERASUOLO, FRANCESCA TURCO

Innovazione tecnologica e metodologica ed aspetti
culturali nella stima e nella gestione del rischio
di erosione costiera 39
LUIGI FOZZATI, EDI VALPREDÀ

Siti archeologici a rischio di erosione nella laguna
di Venezia. Evoluzione geomorfologica e popolamento
antico 41
PAOLA FURLANETTO, ALDINO BONDESAN, LUIGI FOZZATI,
ERNESTO CANAL, ROBERTO ROSSELLI, BARBARA BERTANI

In copertina: Il promontorio di Capo Colonna.

Erosione costiera in siti di importanza archeologica

GEROLAMO FAZZINI
Rappresentante legale "Ekos Club",
associazione di volontariato concessionaria
dell'isola demaniale del Lazzaretto Nuovo

Presidente della sede di Venezia e Consigliere
Nazionale "Archeoclub d'Italia"

Questo convegno sull' "Erosione costiera" che ha luogo a Venezia nell'Isola del Lazzaretto Nuovo, giunge a concludere una stagione estiva che quest'anno è stata per l'isola particolarmente positiva e proficua di iniziative e attività.

Anche quest'anno il nostro sito lagunare è stato frequentato da parecchie migliaia di visitatori, dando dimostrazione dell'interesse che suscita il suo patrimonio storico-monumentale e naturalistico. L'isola inoltre ha ospitato anche quest'anno le indagini archeologiche e i campi di lavoro, i laboratori di manutenzione e restauro, frequentati da giovani di tutto il mondo, che sono di grande importanza per la valorizzazione e per la rivitalizzazione di questo lembo di territorio lagunare.

Ricordo che l'isola, vincolata ai sensi della Legge 1089, è un'isola di importanza storica, usata per più di tre secoli come luogo di quarantena per le navi della Serenissima, ed è una delle poche isole minori della Laguna di Venezia, ad aver conosciuto una decisa azione di recupero grazie in particolare ai restauri del MiBAC e del Magistrato alle Acque.

Dopo alcuni anni di abbandono a seguito delle dimissioni del Ministero della Difesa è ormai da molti anni in concessione all'associazione "Ekos Club" *Onlus* che garantisce custodia e gestione, all'interno di un progetto generale, "Per la rinascita di un'isola", che comprende attività scientifiche e culturali e vede la collaborazione di vari Enti ed Istituzioni tra cui soprattutto la Soprintendenza per i Beni Archeologici e l'Archeoclub d'Italia.

L'idea di questo convegno è nata partendo proprio da qui, dalla Laguna di Venezia, che si può considerare una vasta area archeologica sottoposta a fenomeni erosivi, ma poi abbiamo dovuto verificare che il problema dell'erosione è un tema nazionale e riguarda tutta la Penisola.

Ringrazio la struttura centrale dell'Archeoclub d'Italia e la Sigea che hanno voluto cogliere l'idea, contribuendo in maniera determinante per l'organizzazione di questo Convegno a carattere nazionale.

I vari Soprintendenti per i Beni Archeologici ed esperti di vari Enti ed Istituzioni che abbiamo invitato e che giungeranno da varie Regioni d'Italia, ci riferiranno in merito alle varie situazioni di emergenza che abbiamo lungo le coste della nostra Penisola.

Purtroppo non c'è solo il caso clamoroso di Kamarina, in Sicilia, dove la costruzione della

diga di un porto ha causato correnti che stanno portando via le mura dell'antica città, importante colonia siracusana del V-III sec. a.C. In Italia ci sono molte altre realtà a rischio.

Sentiremo quanto ci diranno in merito in particolare il Magistrato alle Acque e le Soprintendenze per i Beni Archeologici del Veneto e del Friuli Venezia-Giulia. Noi possiamo dire che anche in molte zone della Laguna nord di Venezia che si trovano intorno all'isola del Lazzaretto Nuovo, dove operiamo da più di vent'anni, è in corso un processo di erosione, causato dal moto ondoso e dalle maree. Quando si distrugge una "barena", che è il tipico terreno lagunare semi-paludoso periodicamente sommerso dall'acqua, spesso non scompare soltanto un ambiente naturale assai interessante da vari punti di vista florofaunistici, ma anche una porzione di territorio dove spesso sono conservate importanti testimonianze archeologiche.

In Laguna ci sono circa 250 siti sommersi di interesse archeologico entro un arco cronologico che va dal neolitico all'epoca moderna. Fino al XII-XIII secolo, ad esempio, intorno all'isola del Lazzaretto Nuovo, allora denominata "Vigna Murada", c'erano vaste saline. Nelle secche e barene davanti a S.Erasmo ci sono argini-strada di epoca romana dove sono state trovate anfore e altri reperti. L'isola stessa del Lazzaretto Nuovo è uno "scricigno archeologico" per certi versi a rischio, specialmente nei lati nord ed est costituiti da "barene" in erosione. Qui poi la situazione si complica con il problema dell'alta marea. Quando, superato un certo limite, l'acqua salata comincia ad entrare, sono minacciate sia la vegetazione secolare, come i gelsi del viale principale, sia le strutture del lazaretto cinquecentesco.

La presenza dei funzionari del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e delle Soprintendenze dovrebbe consentire di avere una panoramica sui casi di maggiore gravità esistenti in Italia, facendo emergere i problemi nella loro complessità, perchè possano essere poi affrontati scientificamente e tecnicamente nel modo migliore, con l'attenzione e con gli accorgimenti di volta in volta più adatti.

Questo Workshop è un convegno di studio, un confronto di carattere interdisciplinare, tra ingegneri, geologi, archeologi e quanti operano nel settore del territorio e dell'archeologia.

In coda al convegno, domenica 3 ottobre, per quanti siano in possesso di brevetto di

sub, è prevista anche un'immersione in un sito subacqueo alla bocca di porto del Lido per verificare lo stato di conservazione di un relitto del 1800 che, come tanti altri nel golfo del mare Adriatico antistante Venezia, giace sul fondale a pochi metri di profondità.

La possibilità di far conoscere i siti archeologici sommersi con opportuni percorsi subacquei, all'interno di un progetto di Parco archeologico della Laguna e del Mare di Venezia, è a nostro avviso tra le opportunità da tener presenti per la valorizzazione delle bellezze storico-artistiche del nostro territorio.

LA STORIA DEL LAZZARETTO NUOVO

L'isola, posta non distante dal porto del Lido, nel Medioevo monastero benedettino conosciuto con il nome di "Vigna Murada", dalla metà del XV secolo ospitò un "Lazzaretto" detto "Novo" per distinguerlo dall'altro, il "Lazzaretto Vecchio" (che aveva funzioni di ospedale per gli ammalati di peste), divenendo luogo di quarantena per le navi e merci della Serenissima sospette di contagio.

Imponenti strutture, oltre a documenti e reperti che provengono da scavi tuttora in corso, testimoniano la funzione di prevenzione sanitaria svolta per più di tre secoli dal Lazzaretto Novo.

Il principale edificio, il cinquecentesco "Tezon Grande" — dove è ospitato e si svolge il convegno —, conserva ancora alle pareti molte testimonianze pittoriche, iscrizioni e disegni originali che ricordano la presenza di mercanti e guardiani del Magistrato alla Sanità e costituiscono un originale corpus epigrafico, purtroppo in precarie condizioni di conservazione a causa dell'umidità, oggi in corso di restauro grazie ad un contributo Unesco, di grande interesse storico-etnografico e antropologico.

In epoca moderna, a partire dalla dominazione napoleonica e soprattutto sotto l'occupazione austriaca, l'isola del Lazzaretto Nuovo fu usata per scopi militari e inserita nella Piazzaforte marittima a forti staccati della Laguna di Venezia. Intorno alla metà degli anni '70 del secolo scorso, è stata dismessa dall'uso militare e abbandonata.

Le attività culturali e scientifiche attuali la stanno ora lentamente riportando a nuova vita, come area storica e naturalistica di grande interesse nella Laguna nord di Venezia, un positivo processo che ci auguriamo proceda e giunga a buon fine.

Modificazione della linea di costa nel golfo di Napoli e Pozzuoli durante il periodo storico

PAOLO CAPUTO
Responsabile Gruppo Archeologico Subacqueo e
Responsabile Unico del Procedimento delle Aree
Marine Protette di Baia e La Gaiola - Soprintendenza
Speciale Beni Archeologici Napoli e Pompei

FRANCO ORTOLANI
Direttore Dipartimento di Pianificazione e Scienze
del Territorio della Facoltà di Ingegneria -
Università degli Studi "Federico II" di Napoli

ROSARIO SANTANASTASIO
Referente Nazionale Mareostrum-Archeoclub d'Italia

1. INTRODUZIONE

Scopo del presente contributo è l'individuazione, con metodi interdisciplinari, delle variazioni della linea di costa, in età storica, nell'area dei Golfi di Pozzuoli e Napoli, estesa per circa 190 km., da Monte di Procida fino alla Punta della Campanella, escluse Capri e le Isole Flegree, cui si aggiunge, a Nord, anche il contiguo tratto del litorale di Cuma, sul Golfo di Gaeta.

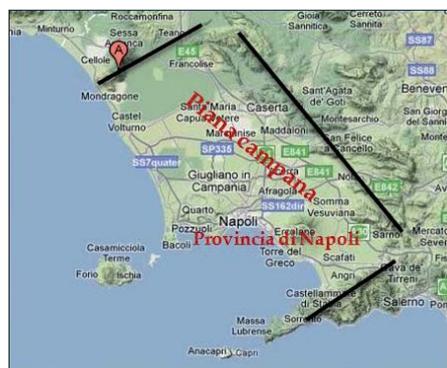


Figura 1 – Rappresentazione dei limiti strutturali della Piana Campana.

Lo studio, basato su dati di archivio, bibliografici, rilievi in sito, in superficie e subacquei, si è svolto congiuntamente, in seguito a convenzione tra la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli e Pompei, l'Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Pianificazione e Scienze del Territorio, e l'Associazione Mareostrum - Archeoclub d'Italia. L'analisi dei dati, ricavati da rilievi, sondaggi, saggi e verifiche fotografiche, ha dato un forte contributo alla localizzazione dei manufatti del periodo storico di interesse (metà I a.C.-II d.C.): infatti, per il buon esito del lavoro, era necessario individuare, in modo quanto più esaustivo possibile, la cronologia delle strutture murarie *in situ*, ubicate lungo la linea di costa in argomento.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STORICO-ARCHEOLOGICO

Le coste della Campania si estendono per circa 500 km e sono caratterizzate per il 60% da coste alte e rocciose, di litologia prevalentemente calcarea, mentre, per il restante 40% da coste basse e sabbiose, rappresentative

dell'area di piana alluvionale estesa verso l'interno, oppure da estreme propaggini delle dorsali appenniniche. In questo contesto, oltre 190 km di costa delimitano l'area dei Golfi di Pozzuoli e Napoli.

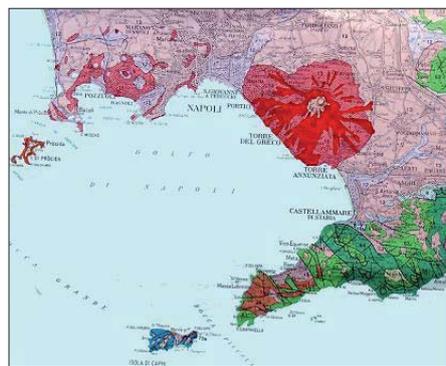


Figura 2 – Rappresentazione schematica dell'assetto geologico dell'area di interesse.

La Provincia di Napoli, che ricade nella "Piana Campana" (Fig. 1) rappresenta un settore del margine tirrenico, delimitato da due alti strutturali del basamento sedimentario, Monte Massico a NW e zona dei Monti Lattari a SE, mentre lateralmente lo delimitano il Mar Mediterraneo e i Monti del Casertano/Sarno. La "Piana Campana", caratterizzata da differenti contesti geomorfologici, durante gli oltre 800 anni dell'età romana, è stata interessata da vari fenomeni fisici, che ne hanno modificato la linea di costa: eruzioni vulcaniche in area vesuviana, movimenti bradisismici (abbassamenti/sollevamenti della superficie terrestre) tra Napoli e Cuma, fenomeni alluvionali nelle piane costiere da Castellammare al fiume Volturno. In particolare, la costa vesuviana, come noto, è stata interessata da eruzioni vulcaniche dal 79 d.C. in poi, che modificarono continuamente la zona costiera, causando una continua aggradazione/progradazione del suolo emerso.

I fenomeni bradisismici, negativi/positivi, hanno provocato, rispettivamente, abbassamenti/sollevamenti del suolo costiero urbanizzato. A partire dal V d.C. circa, in base all'evidenza di vari manufatti sommersi, tutta la zona costiera dalla Penisola Sorrentina fino a *Stabiae*, Costa Vesuviana, Napoli e Costa Flegrea, ha subito un generale abbassamento di entità variabile da circa 1 m

a oltre 10 m. Anche la zona urbana di Napoli e la costa a nord dei Campi Flegrei sono state interessate da ripetuti fenomeni alluvionali catastrofici, che hanno provocato il ricoprimento/obliterazione di superfici urbanizzate e la progressiva aggradazione/progradazione costiera. Le ricostruzioni paleoclimatiche hanno evidenziato poi che, in età storica, si sono alternati, ciclicamente, periodi a clima più caldo e arido, ad altri, più freddi e umidi dell'attuale.

Fenomeni alluvionali si sono verificati durante i periodi freddo-umidi, mentre fenomeni erosivi dei litorali si sono intensificati nei periodi con clima simile a quello attuale e più caldo arido.



Figura 3 – Ubicazione delle aree di interesse.

Il litorale dell'area esaminata, posto su antiche rotte del Mar Tirreno, verso aree mediterranee, ricche di risorse minerarie e punti di scambio, fu caratterizzato da insediamenti antropici, a partire da età micenea e fino a età altomedievale. Alla fase coloniale d'età greca, seguì una di dominio sannito-campano e quella, di più lunga durata, d'età romana, la cui densità edilizia ha lasciato numerose memorie architettoniche.

All'interno di tale contesto si distinguono siti archeologici quali quello miceneo di Procida-Vivara, quelli greci di *Pithekoussai* (isola d'Ischia), Cuma, *Neapolis*, quelli romani di Miseno, Bacoli, Baia, *Puteoli*, Nisida, di Ercolano, Pompei, Stabia e le numerose ville marittime e residenze imperiali romane, diffuse sulle coste dell'area considerata. In ambito geoarcheologico e per lo studio delle modifiche della linea di costa, la Campania antica occupa, con riferimento agli "indicatori o target" costieri utilizzati, una posizione privilegiata.

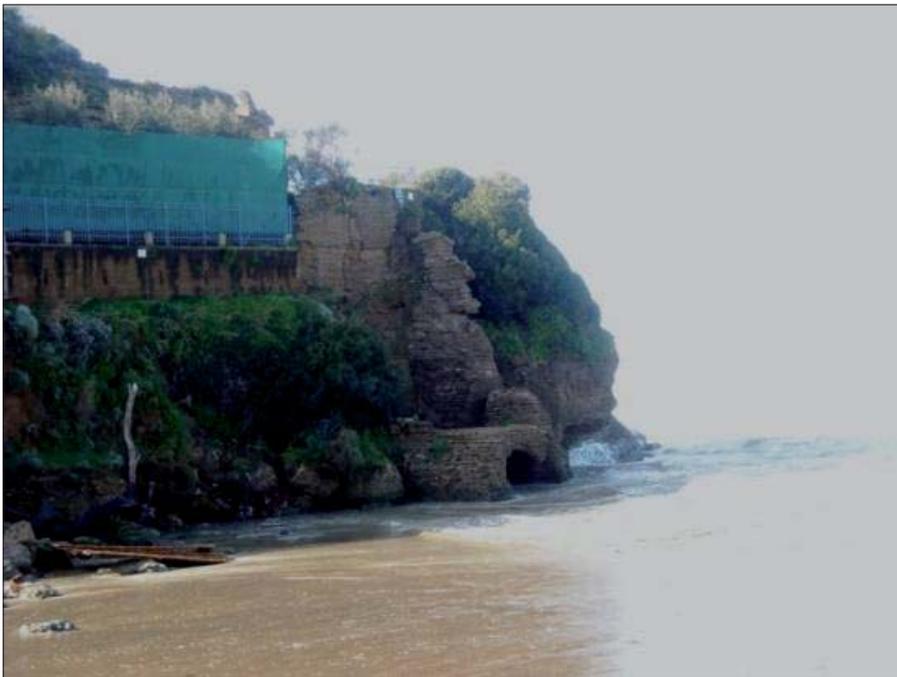
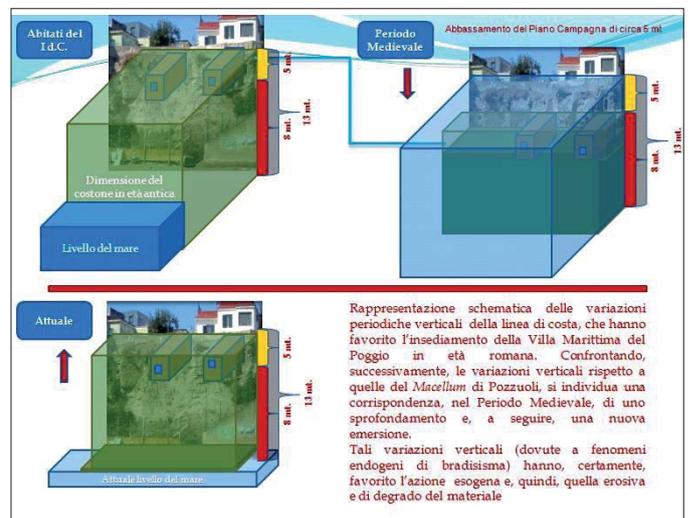


Figura 4 – Baicoli (NA) Promontorio di Torregaveta/lato nord.



Figura 5/5bis – Baicoli (NA) Spiaggia del Poggio. Resti di villa romana (I d.C.).



Questa si accentua in corrispondenza dei Golfi di Pozzuoli e Napoli: per motivi storici, infatti, la maggior parte degli “indicatori” vi si concentra da metà I a.C. al II sec. d.C., col fervore edilizio della “Villa Society”, ossia l’aristocrazia romana, che su tali coste edificò residenze marittime e porti militari e civili.

3. AREE DI INTERESSE

I siti studiati, che hanno consentito la ricostruzione geoarcheologica delle modifiche della linea di costa, hanno la caratteristica di essere omogenei cronologicamente e culturalmente e scientificamente affidabili. A tale proposito, si sono distinte le zone in tre settori: Flegreo - Napoli/Vesuviano - Sorrentino

In area flegrea, isole escluse, si individuano i seguenti siti di interesse archeologico:

CAMPI FLEGREI

Cuma/“Tempio d’Iside” e bonificato lago di Licola-ipotizzato porto romano; lago Fusa-

ro, resti semisommersi della villa marittima di Publio Servilio Vatia (I d.C.)/*Acherusia Palus*; Promontorio di Torregaveta/resti della villa romana di Publio Servilio Vatia (Fig. 4); Mise-

Pagano (1991), che, comunque, evidenzia i continui fenomeni vulcanici, condizionanti periodicamente nei secoli l’urbanizzazione dei luoghi.

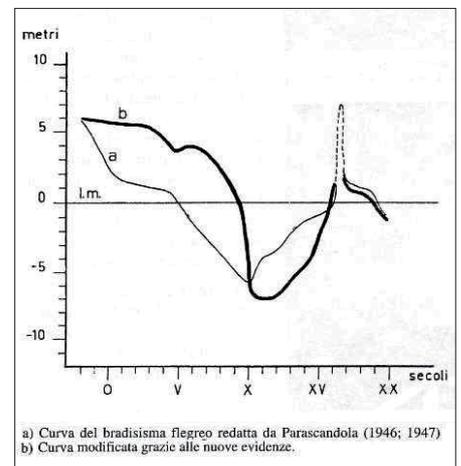
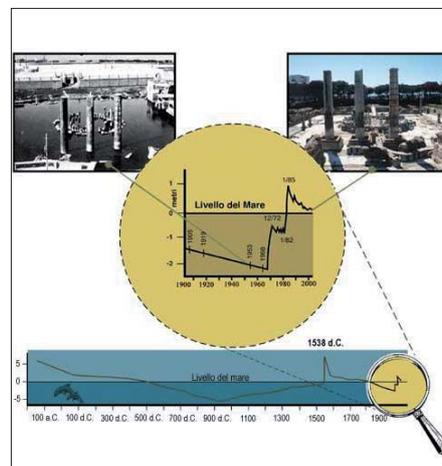


Figura 6/6bis – Dall’analisi dei dati riferiti alle curve del bradisismo di Campi Flegrei e di Pozzuoli (“Tempio di Serapide”) si evince una corrispondente variazione nel periodo Medievale, cui potrebbe aggiungersi una marcata erosione (dello spessore di circa 5m.) del tratto di costone, là dove insistono i ruderi archeologici.

NAPOLI/VESUVIANO

Napoli: Posillipo/Gaiola, resti della villa romana imperiale del *Pausilypon*; Castel dell'Ovo/resti d'età romana della "villa marittima di Lucullo"; Piazza Municipio/resti del porto romano e di tre navi coeve; area vesuviana: Torre del Greco/contrada Sora-località ponte di Rivieccio, resti di villa marittima e paleospaggia d'età romana; Agro Pompeiano/Foce del Sarno; Castellammare di Stabia/località Pozzano, resti di approdo.

duati, a largo di Castel dell'Ovo, strutture dello stesso periodo in *opus reticulatum*. Tali evidenze storiche sono poste alla distanza di circa 1,5 km tra loro e databili allo stesso periodo. La geomorfologia non evidenzia, tuttavia, discontinuità tali da potere giustificare una tale variazione di quota, consistente in circa -7m tra questo manufatto, da una parte, e il molo e i relitti, dall'altra, entrambi databili al I d.C. (Fig. 6). Se è pur vero che la zona è stata interessata da continui fenomeni di

Nella zona vesuviana, in particolare a Torre del Greco, sono state segnalate, a largo dell'attuale linea di costa e a -4/-5 m, manufatti databili allo stesso periodo di quelli precedenti (I d.C.). Si ritiene che anche in quest'area tali fenomeni di trasgressione marina siano giustificabili, nel contesto geomorfologico, rapportandoli a fenomeni di aggradazione/progradazione alluvionali e vulcanici.

4. DISTRIBUZIONE AREALE

Come mostra, dunque, la pianta dell'area in questione, la disposizione dei siti di interesse archeologico, cronologicamente databili nel periodo considerato (metà I a.C.- II d.C.), indica la presenza dei target/indicatori ascrivibili al I d.C. concentrati soprattutto lungo il litorale di Cuma, dei Campi Flegrei e dell'area vesuviana, meno, invece, ma come sopra detto, solo verosimilmente per difetto di ricerca, in Penisola Sorrentina, per profondità variabili da un minimo di -1 (Cuma) a un massimo di -13 m. (Napoli-Castel dell'Ovo), per i motivi sopra esposti.

5. CONCLUSIONI

Obiettivo del presente studio è stato, dunque, determinare la variazione della linea di costa, riferita a dati oggettivi del periodo cronologico considerato. Si è effettuata la ricostruzione del modello esplicativo delle variazioni morfologiche della linea di costa, tenendo presenti i fenomeni geologici che, su vasta scala, hanno modificato la Piana Campana: bradisisma, subsidenza, aggradazione e progradazione di sedimenti alluvionali e vulcanici, senza escludere i fenomeni eustatici che, indubbiamente, hanno contribuito.

Dall'analisi dettagliata e dai rilievi effettuati è stato possibile realizzare una proposta ricostruttiva temporale della disposizione verticale e orizzontale delle strutture murarie (Fig. 8). Si ritiene in definitiva che gli elementi quantitativi individuati per la ricostruzione del paesaggio storico archeologico siano:

1. La valutazione dell'incidenza del fenomeno erosivo, che ha contribuito a modificare la fascia costiera, naturalmente in relazione ai vari parametri fisici e litologici dei siti di interesse (litologia ed esposizione a fenomeni fisici);
2. L'identificazione dei dati quantitativi associati ai fenomeni terra emersa-mare, imputabili ad attività tettoniche di tipo crostale;
3. I dati significativi rispetto ai movimenti verticali in aree contigue, imputabili a discontinuità locali, che certamente hanno dato un notevole contributo alle variazioni geomorfologiche della linea di costa.

Questi fenomeni sono di importanza strategica in aree densamente urbanizzate,

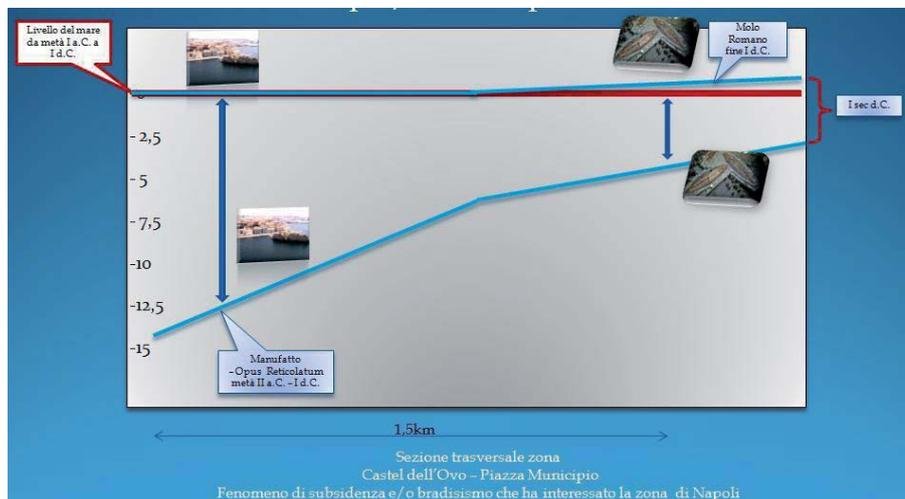


Figura 7 - Schema rappresentativo dell'evoluzione del tratto di costa compreso tra Piazza Municipio e Castel dell'Ovo, edificato sull'antico isolotto di Megaride.

Nella zona di Napoli, in seguito alle opere per la costruzione della metropolitana cittadina, sono stati individuati a Piazza Municipio, tre relitti navali, a testimonianza della presenza di un molo, posto perpendicolarmente rispetto alla linea di costa, e databile a fine I d.C.; i resti sono stati localizzati a -4/-5 m s.l.m. Rispetto al molo e a tali relitti, ma alla profondità di -13 m si sono, invece, indivi-

abbassamento del substrato, con aggradazione/progradazione alluvionale e vulcanica, e anche con fenomeni bradisismici del passato, la situazione, non evidenziandosi, da una prima analisi, elementi di discontinuità, è di difficile comprensione. Per tale motivo, sono in corso da parte del gruppo di lavoro analisi, studi e rilievi per approfondire e risolvere la questione.

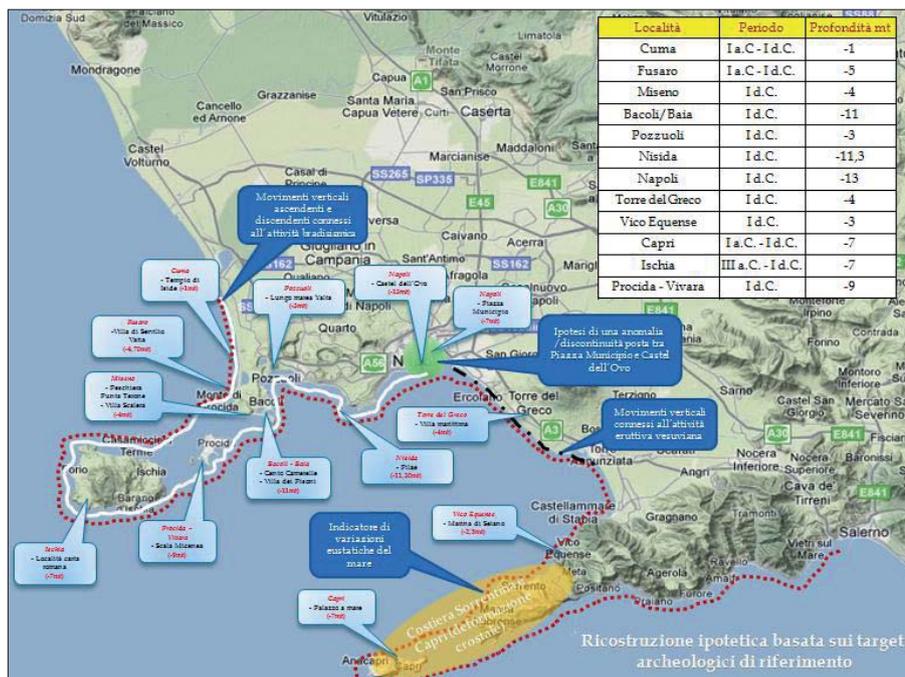


Figura 8 - Rappresentazione schematica dei siti di interesse archeologico e delle aree interessate da varie tipologie di deformazioni crostali del Golfo di Pozzuoli e Napoli.

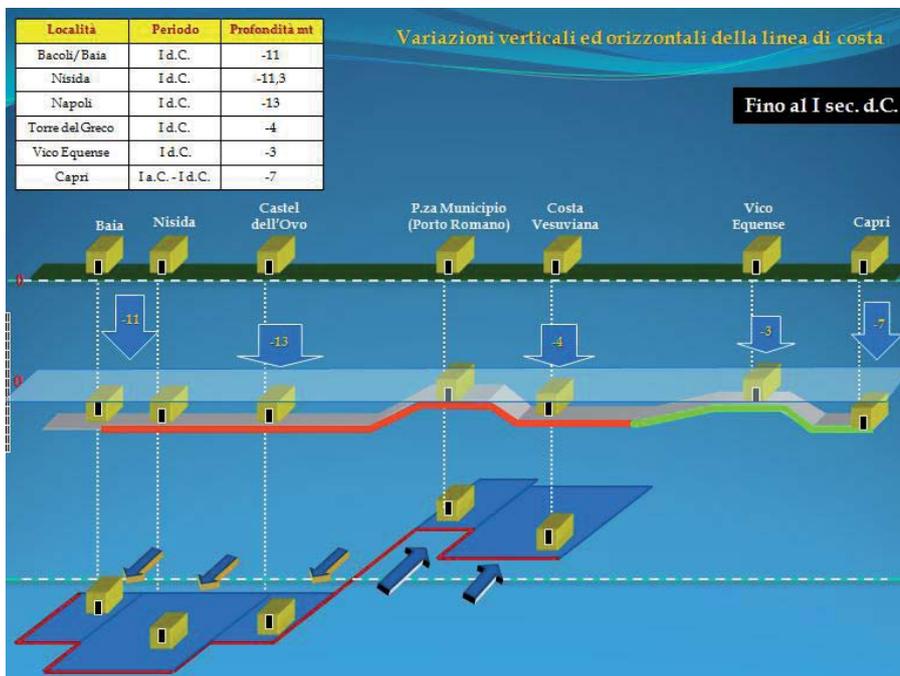


Figura 9 – Distribuzione spaziale e temporale verticale e orizzontali dei manufatti ritrovati

SCHEDA SPERIMENTALE PER RILIEVO E CATALOGAZIONE DEI SITI ARCHEOLOGICI COSTIERI

Identificativo Scheda

Compilatore/Ente
Acquisizione dati

Rilievo Bibliografia

Dati filetti

Ubicazione del sito

Regione
Provincia
Comune
Località

Coordinate

Latitudine
Longitudine
Altitudine
Profondità

Riferimenti cartografici I.G.M. ed altra cartografia

Descrizione del sito

Documentazione iconografica

Foto (numero, luogo, descrizione etc...)
Diapositiva (numero, luogo, descrizione etc...)
Filmatore (numero, luogo, descrizione etc...)
Disegno (numero, luogo, descrizione etc...)
Altri

Caratterizzazione della tipologia di costa (es. prendendo spunto dalla Direttiva 2006/6/CE)

Tipologia	Substrato	Profondità
Costa rocciosa	Roccoso	Bassa
Costa rocciosa	Roccoso	Profonda
Costa sabbiosa	Sedimentario	Bassa
Costa sabbiosa	Sedimentario	Profonda

Caratterizzazione del sito

Litologia caratterizzante
Unità orono stratigrafica
Periodo/Età
Aspetto geomorfologico

26/12/2010 34

Esclusione del sito

Tipologia di sito

Emerso
Sommerso
Altro

Accessibilità sito emerso

A piedi
In barca
Altro

Accessibilità sito sommerso

In barca
Altro

Visibile dalla superficie

Sì
No
Altro

Proprietà

Pubblica
Privata

Destinazione d'uso

Vincoli territoriali esistenti sull'area

Sito in area protetta (Parchi naturali, Riserve Naturali etc...)

Sì
No
Quali:
Altro

Altre tipologie di vincoli

Vincolo paesaggistico
Vincolo archeologico
Altro

Sito Archeologico

Cronologia
Descrizione
Tipologia
Documentazione grafica / fotografica

Sito

Emerso
Sommerso
Semisommerso

Soggetto ad azione erosiva e/o antropica
Altro

Stato di conservazione del sito archeologico

Buono
Discreto
Cattivo
Altro

Rischio di degrado

Elevato
Medio
Basso
Altro

Cause di degrado

Naturale
Antropica
Altro

Descrizione della tipologia di degrado
Eventuale proposta di soluzione ed istituzione di un'area di protezione
Commenti ed annotazioni
Dati bibliografici
Dati di archivio

26/12/2010 35

laddove incidono anche su infrastrutture di notevole interesse pubblico.

Per questo lavoro si sta utilizzando una nuova metodologia di censimento, basata su una Scheda Rilievo Catalogazione Siti Archeologici Costieri (S.R.C.S.A.C.), che ha permesso di caratterizzare le varie zone. Quest'ultima verrà pubblicata con gli atti.

BIBLIOGRAFIA

- A. BENINI, *Recenti indagini a Bacoli e Miseno*. In: P. A. GIANFROTTA, F. MANISCALCO (a cura di), *Forma Maris*, Forum Internazionale di Archeologia Subacquea, 2001, p. 53-55.
- A. BENINI, R. STRADA, G. VECCHIO, *Parco sommerso di Gaiola, Golfo di Napoli*, Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio.
- A. BENINI, L. LANTERI, *Il porto Romano di Miseno: nuove acquisizioni*. In: D. J. BLACKMAN, M. C. LENTINI (a cura di), *Ricoveri per navi militari nei porti del Mediterraneo Antico e Medioevale*, CUEBC, Ravello, Edipuglia 2010, pp. 109-117.
- A. BENINI, R. STRADA, *Parco sommerso di Baia*, Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio, Electa Napoli, 2003.
- A. BENINI, *Storia, Archeologia e tutela dei beni archeologici sommersi: l'esempio dei Campi Flegrei*. In: M. GIACOBELLI (a cura di), *Lezioni Fabio Faccenna*, Conferenze di Archeologia Subacquea III-V ciclo, Bari 2004, pp. 35-43.
- A. BENINI, *Recenti indagini a Bacoli e Miseno*. In: P. A. GIANFROTTA, F. MANISCALCO (a cura di), *Forma Maris*, Forum Internazionale di Archeologia Subacquea, 2001, pp. 51-52.
- A. CINQUE, *Vico Equense, I ruderi della Villa romana. Un percorso per la riscoperta*. In: Agorà, anno 9, 337, 9 ottobre 2007 pp. 12.
- A. CINQUE, F. RUSSO, M. PAGANO, *La successione dei terreni di età post-romana delle terme di Misero (NA): nuovi dati per la storia e la stratigrafia del bradisismo puteolano*, Soc. Geol. Ital., Roma 1991, pp. 231-244.
- BENEO, *Schema strutturale dell'Isola di Capri*, Boll. Serv. Geol. It., 1952.
- CALDERONI G., DE GENNARO M., ORTOLANI F., PAGLUICA S., ROLANDI G., TOCCARELLE R.M., *Evoluzione geologica e geomorfologica di aree costiere della Campania, 77° Congresso Naz. Soc. Geol. It., Bari 23, 1994.*
- CALIRO S. ET ALII..., *L'area urbana di Napoli: principali caratteristiche geologiche, stratigrafiche ed ambientali*, Convegno Naz. Bologna, 1997.
- CAMMELLI, IANNOTTA, MATTUCCI, PRANZINI, *Dinamica morfologica e sedimentaria del litorale di Castellammare di Stabia*, Studi costieri, 2004, p. 4.
- CH. MORHANGE, R. MARRINER, J. LABOREL, M. TODESCO, CH. OBERLIN, *Rapid sea-moviments and crustal deformation in the Phlegrean Fields Caldera*, Italy, Geology, 2006, 34, 2, p. 93-96.
- CLAUDE ALBORE LIVADIE, FRANCO ORTOLANI, *Variazioni Climatico Ambientali e impatto sull'uomo nell'area circum-mediterranea durante l'olocene*, Edipuglia, 2003.
- C. MOCCHEGIANI CARPANO, *Archeologia subacquea a Procida, Vivara, Na*, 2001.
- COCCO E., DE MAGISTRIS M. ET ALII..., *Dinamica ed evoluzione del litorale campano-laziale*, Atti del IV Congr. AIOL, Livorno 1982.
- CRISTOPHE MORHANGE, NICK MARRINER ET ALII..., *Rapid sea-level movements and non eruptive crustal*

- deformations in the Phlegrean Fields Caldera, Italy, *Rivista Geology*, 2006, pp. 93-96.
- DE CASTRO, *Archeologia a Capri*, Da Archeologia in Campania, 1987.
- DE PIPPO T., DONADIO C., RUSSO F., SGAMBATI D., *Caratterizzazione geomorfologica del litorale vesuviano: evidenze per la ricostruzione dell'area di costa di epoca romana*, Mem. Descr. della Carta Geol. d'Italia, Atti Conv. Int. di Geologia Subacquea "Geosub 94" 8/10 giugno 1994, Palinuro, Serv. Geol. It., Roma, 1995.
- D. GIAMPAOLA, V. CARSA, *Il porto di Neapolis e il Museo della città*. In: F. GRAVINA (a cura di e in collaborazione con F. CIBECCHINI e A. HESNARD), *Comunicare la memoria del Mediterraneo*, Atti del Convegno ANSER, Pisa, 29-30 ottobre 2004, Napoli/Aix-en-Provence, pp. 205-215.
- D. GIAMPAOLA, V. CARSA, *Fra Neapolis e Parthenope*. In: D. J. BLACKMAN, M. C. LENTINI (a cura di), *Ricoveri per navi militari nei porti del Mediterraneo Antico e Medioevale*, CUEBC, Ravello, Edipuglia 2010, pp. 119-129.
- E. SCOGNAMIGLIO, *Aggiornamenti per la topografia di Baia Sommersa*, Archeologia Subacquea, Il Roma 1997, pp. 35-45.
- E. MAZZETTI, *Le grotte dell'Isola di Capri. Studio sul carsismo dell'isola con riguardo ai movimenti di spiaggia*, Presso la biblioteca di architettura sez. Na B/1677, farbc9996, Collocazione A-it 0415.
- F. AVILIA, *Pozzuoli (Napoli), rinvenimenti nel Porto*, Bollettino di Archeologia, 39-40, Roma, 1996, pp. 80-83.
- F. MANISCALCO, N. SEVERINO, *Recenti ipotesi sulla conformazione del Lacus Baianus*, estratto da *Rivista di Antichità*, Loffredo Editore Napoli, Gennaio-Giugno 2002, Anno XI n°1, pp. 167-176.
- F. ORTOLANI, S. PAGLIUCA, *I litorali della Campania*, Giannini, Napoli 1999.
- F. ORTOLANI, S. PAGLIUCA, *Evoluzione ed erosione dei litorali della Campania. Linee guida per il restauro geoambientale e la valorizzazione e tutela delle aree costiere*, Giannini, Napoli 2000.
- F. ORTOLANI, S. PAGLIUCA, *Geoarchaeological evidences of cyclical climatic-environmental changes in the Mediterranean Area (2500 BP-Present day)*, Geosed 2006, Modena 25-29 settembre 2006.
- F. ORTOLANI, PAGLIUCA S., *Evidenze geologiche di variazioni climatico-ambientali storiche nell'Area Mediterranea*. Quaderni della Società Geologica Italiana, n.1, marzo 2007, pp. 14-18.
- FILIPPO RUSSO, *I depositi marini oligocenici nei Campi Flegrei: testimonianza di una evoluzione geomorfologica complessa*, 2003.
- F. BARATTOLO, A. PUGLIESE, *Il Mesozoico dell'Isola di Capri*, Presso la biblioteca Geologia (0116), 1987.
- G. DI FRAIA, N. LOMBARDO, E. SCOGNAMIGLIO, *Contributi alla topografia di Baia Sommersa*, Puteoli IX-X, 1998, pp. 211-299.
- G. DI FRAIA, *Baia Sommersa. Nuove evidenze topografiche e monumentali*, Archeologia Subacquea, I 1993, pp. 21-48.
- G. BOETTO, V. CARSA, D. GIAMPAOLA, *I relitti di Napoli ed il loro contesto portuale*. In: S. MEDAS, M. D'AGOSTINO, G. CANIATO, *NAVIS, Archeologia, Storia ed Etnologia Navale*, Atti del Primo Convegno Nazionale, Cesenatico, Museo della Marineria, 4-5 Aprile 2008, Edipuglia, Bari 2010 pp. 115-122.
- G. BUCHNER, C. GIALANELLA, *Museo Archeologico di Pithecusae*, Istituto Poligrafico dello Stato, 1994, pp. 92-93.
- IVAN VARRIALE, *Costa Flegrea e Attività bradisismica dall'antichità ad oggi*. In: L. DE MARIA, LAETITIA VECCHI, C. MORHANGE, PIERRE-FREDERIQUE BLANC, JEAN-PHILIPPE GOIRAN, BUI THI MAI, MICHEL BOURCIER, PIERRE CARBONEL, ALAIN DEMANT, FRANCOISE GASSE, MICHEL GIRARD, ERIC VERRECCHIA, *La mobilité des milieux littoraux de Cumes, Champs Phlégréens, Campanie, Italie du Sud*, Méditerranée n° 1.2, 2000, pp. 71-82.
- LA MONICA, MARABINI, *La fascia costiera dei Campi Flegrei*, 13° Congresso A.I.O.L., Ancona, 1998.
- M. PAGANO, *Prospezioni preliminari lungo le coste di competenza. Castellammare località Isolotto di Rovigliano*, *Rivista di Studi Pompeiani*, 1990, p. 232.
- A. MAIURI, *La Villa Augustea di Palazzo a Mare*. In: *Campania Romana*, I, Napoli 1938, pp. 115-138.
- A. MAIURI, *Capri, Storia e Monumenti*, Roma 1956, pp. 66-72.
- MARABINI, *Lineamenti della zona costiera dei Campi Flegrei*, Rapporto tecnico 46 dell'Istituto di Geologia Marina del C.N.R., Bologna, 1997.
- M. MARAZZI, C. MOCCHEGIANI CARPANO, *Vivara al centro della Storia*, Napoli, 1998 pp. 12-41.
- M. MARAZZI, C. MOCCHEGIANI CARPANO (a cura di), *Vivara, un'isola al centro della Storia*, 1998, pp. 12-20, 32-47, 90-99.
- MARENOSTRUM DI ARCHEOCLUB D'ITALIA, *Archivio Soprintendenza Archeologica Speciale Napoli e Pompei - Dati riferiti a rilievi nella zona Palazzo a mare*, *Prospezioni dal 1992-1996 con relazione tecnica del dic. 1996*, Capri, 1992-1996.
- M. PAGANO, *Ricerche Archeologiche subacquee lungo il litorale Isolotto di Rovigliano*. In: G. BONIFACIO, A. M. SODO (a cura di), *Stabile, Storia e Architettura*. 250° Anniversario degli scavi di Stabiae 1749-1999, Convegno internazionale di Castellammare di Stabia, 25-27/03/2000, pp. 163-165.
- M. PAGANO, *Variazione del livello del mare tra Miseno e Baia*. In: C. ALBORE LIVADIE, F. ORTOLANI (a cura di), *Variazioni climatico-ambientali e impatto sull'uomo nell'area circummediterranea durante l'Olocene*, CUEBC, Ravello, Bari 2003, pp. 71-81.
- M. PAGANO, *Considerazioni sulle variazioni del livello del mare sul litorale vesuviano*, Bollettino di Archeologia Subacquea, 1-2, Luglio-Dicembre 1995 / Gennaio-Giugno 1996 (Roma, 1996), pp. 243-253.
- M. PAGANO, *Prospezioni preliminari lungo le coste di competenza*. Torre del Greco, Ponte di Riviccio. In: *Rivista di Studi Pompeiani*, IV, 1990, pp. 229-230.
- M. PAGANO, FILIPPO RUSSO, FILIPPO TERRASI, CLAUDIO TUNIZ, *Antropizzazione e attività vulcanica in alcuni siti archeologici di Torre del Greco*. In: C. ALBORE LIVADIE, F. ORTOLANI (a cura di), *Il sistema uomo-ambiente tra passato e presente*, CUEBC, Ravello, Bari 1998, pp. 221-235.
- MICHEL PASQUALINI, *Cumes: cadre géographique et historique avant-propos à l'étude des ports*, Méditerranée, 1.2-2000.
- M. RUSSO, *Per viscera Rupis. Vie pubbliche e private in galleria, in tagliata e in trincea di Surrentum*, ATTA, 13, Roma 2004, pp. 334-371.
- N. LOMBARDO, *Le terme di Punta dell'Epitaffio a Baia*, Archeologia Subacquea, I, 1993, pp. 55-63.
- N. SEVERINO, P. CAPUTO, *The Underwater Park of Baiae: Preservation and Public Access*, Japon Center for International Cooperation in Conservation, Tokyo, 2008, pp. 72-78.
- N. SEVERINO, *Recenti ricerche Archeologiche sull'Isola di Nisida*, Orizzonti, Pisa-Roma 2005, pp. 119-133.
- P. A. GIANFROTTA, *L'indagine Archeologica e lo scavo*. In: G. TOCCO SCIARELLI (a cura di), *Baia. Il Ninfeo Imperiale sommerso di Punta Epitaffio*, Napoli 1983, pp. 25-39.
- P. CAPUTO, *Ricerche sul suburbio meridionale di Cuma*, ATTA 15, 2006, pp. 120-123.
- P. CAPUTO, *Ricerche subacquee nell'area di Torregaveta*. In: P. A. GIANFROTTA, F. MANISCALCO (a cura di), *Forma Maris*, Forum Internazionale di Archeologia Subacquea, Pozzuoli, 222-224 settembre 1998, Massa editore, Napoli 2001, pp. 57-62.
- P. CAPUTO, *I resti del tempio di Iside a Cuma in relazione alle trasformazioni geomorfologiche del litorale*. In: C. ALBORE LIVADIE, F. ORTOLANI (a cura di), *Variazioni climatico-ambientali e impatto sull'uomo nell'area circummediterranea durante l'Olocene*, CUEBC, Ravello, Bari 2003, pp. 87-94.
- P. CAPUTO, *Gli apprestamenti marittimi della Villa di Servilio Vatia*. In: *Civiltà del Mediterraneo*, Napoli 2 luglio 1995, pp. 16-22.
- P. CAPUTO, *Il tempio di Iside a Cuma: Nuovi documenti sul culto isiaco in Campania*, ATTA 12-2003, pp. 209-220.
- P. CAPUTO, *La topografia di Baia Sommersa*. In: P. MINIERO (a cura di), *Il Museo Archeologico dei Campi Flegrei nel Castello di Baia*, Electa Napoli, 2000 pp. 79-82.
- P. MINIERO, *Bacoli (Napoli). Parco Monumentale di Baia, ex proprietà Strigari*, Bollettino di Archeologia, 1996, pp. 59-65.
- P. POUPET, R. HARFOUCHE, *Kyme-Cumae (Italie): regards sur les formes du paysage autour d'un port de l'Antiquité*, Méditerranée, 1.2-2005, pp. 37-48.
- P. POUPET, ROMANA HARFOUCHE, *Regards sur les formes du paysage*, Méditerranée.
- R. TURCHETTI, *Rotte e porti del Mediterraneo dopo la caduta dell'impero romano d'occidente - Continuità e innovazioni tecnologiche e funzionali*, IV seminario, Genova, 18-19/06/2004, Roma, 2004, pp. 291-310.
- R. T. GUNTHER, *Posillipo Romana*, a cura di D. VIGGIANI, Electa, Napoli 1993.
- S. DE CARO, A. GRECO, *Campania*, (Laterza Bari, 1981), pp. 101-108.
- T. BUDETTA, (a cura di), *Museo Archeologico Territoriale della Penisola Sorrentina "Georges Vallet"*, Salerno Controimmagine 1999, pp. 43-47, 66-71.
- U. PAPPALARDO, F. RUSSO, *Il bradisismo dei Campi flegrei (Campania): dati geomorfologici ed evidenze archeologiche*. In: P. A. GIANFROTTA, F. MANISCALCO (a cura di), *Forma Maris*, Forum Internazionale di Archeologia Subacquea, 1998, pp. 107-119.
- V. CARDONE, *Nisida*, Electa Napoli 1992, pp. 13-21.
- V. CILEK, J. WAGNER, *Under-sea Tunnels in the Vicinity of Castell dell'Ovo in Naples*. In: R. PAONE, C. PICCOCCHI (a cura di), *International Symposium on Underground Quarries*, Napoli, Castel dell'Ovo, 10-14 July 1991, Napoli, 1994, pp. 173-175.
- V. SAMPAOLO, *L'iscrizione OSCA di Punta Campanella*. In: A. FRATTA (a cura di), *Il trasporto Commerciale Marittimo nell'Antichità*, III Biennale Internazionale del Mare, SAGEP 1992, pp. 73-76.
- V. PAOLETTI, M. SECCOMANDI, M. PIROMALLO, F. GIORDANO, M. FEDI AND A. RAPOLLA, *Magnetic Survey at the Submerged Archeological Site of Baia, Naples, Southern Italy*, Archeological Prospection, 2004.

Erosione costiera e monumenti archeologici in Calabria

GIOACCHINO LENA
SIGEA
gioacchino.lena@tin.it

SIMONETTA BONOMI
Soprintendente per i Beni Archeologici
della Calabria

INTRODUZIONE

La conformazione fisica della Calabria e, soprattutto, la sua storia geomorfologica hanno impedito, fin dall'antichità, che sulle sue rive si sviluppasse quella stretta interrelazione fra mare e insediamenti antropici, altrove così stretta (Fig.1).

blocchi delle mura di Hipponion) a pochi secoli addietro. Proseguendo lungo il promontorio del Monte Poro un'altra cava si incontra a Capo Vaticano (questa, di macine da mulino¹) e un'altra di età romana a Nicotera Marina; di essa sono ancora presenti *in situ* due colonne in granito grigio (Solano, 1985).

ita da coste diritte e con poche rientranze, ha sempre offerto una oggettiva difficoltà alla costruzione di tali strutture. Di esse, infatti, abbiamo tracce sporadiche e molto dubitative a Crotona le cui strutture portuali sono state indicate di volta in volta in corrispondenza dei moli esterni del porto aragonese (Sch-



Figura 1 – Carta con la posizione di Monasterace Marina.

Al momento attuale le tracce conosciute di questo rapporto sono molto limitate: una peschiera di età romana imperiale a Sant'Irene e le tracce, sconvolte dall'erosione e difficilmente leggibili, di un'altra peschiera pochi chilometri verso nord, alla Rocchetta (Iannelli-Lena, 1986; Lena, 1989), entrambe in territorio di Briatico, una villa di età romana imperiale sul promontorio di Capo Cimiti, ormai quasi demolita dal moto ondoso, qualche altra villa romana sulle rive dello Jonio, le tracce, non ancora perfettamente studiate, dei *vivaria* di Cassiodoro sulla scogliera di Staletti.

Più frequenti sono le tracce di cave costiere alcune delle quali di grandi dimensioni. Quella che si incontra alla periferia settentrionale di Pizzo Calabro si spinge da qualche metro sotto il livello del mare attuale fin quasi alla sommità del versante ed ha avuto, probabilmente, un periodo di uso lunghissimo, dall'età greca (provengono da questa cava i



Figura 2 – Il tempio dorico sulla spiaggia di Monasterace Marina.

Altre cave di probabili macine da mulino si rinvennero sulla spiaggia immediatamente a valle di Capo dell'Armi (Lena, 2004) e sulla spiaggia di Soverato (Lena, 2009). Più numerose sono le cave in calcarenite quaternaria che circondano i promontori japigi (Marino 1996, Marino *et al.*, 2010), alcune delle quali, a Le Castella, sono sommerse da una trasgressione anomala del mare.

Resti in gran parte sommersi sono quelli di strutture portuali. Ma la Calabria, costitu-

miedt, Chevallier, 1959) o della foce dell'Esaro (Guerricchio, Ronconi, 1994); recentemente è stata avanzata l'ipotesi di strutture portuali sommerse e demolite del moto ondoso (Marino *et al.*, 2010) di fronte all'acropoli. Sempre in via ipotetica sono stati ricostruiti i siti dei porti (e relative strutture) di Reggio, Sibari e Locri mentre le uniche certezze si hanno per il porto di *Hipponion Valentia* (Lena, 1989) e per quello di Kaulon (Iannelli *et al.*, 1993; Stanley *et al.*, 2007).

Tuttavia, due monumenti, fra l'altro i più famosi della regione, si trovano sulla riva del mare o presso di essa e soffrono oggi il pericolo di definitiva scomparsa a causa di una energica azione erosiva: il basamento del

1 Comunicazione personale del dott. Antonio Zumbo che la ritiene di età romana sulla scorta di ceramica di età imperiale rinvenuta all'interno degli scassi.

tempio dorico di Monasterace Marina, l'antica *Kaulon*, e la colonna superstite del tempio di *Hera Lacinia*, sul promontorio omonimo, presso Crotona.

IL TEMPIO DORICO SULLA SPIAGGIA DI MONASTERACE MARINA

Il primo fu scoperto durante una campagna di scavi negli anni 1912-1913 alla marina di Monasterace (Orsi, 1916) alla distanza (rispetto alla base della duna) di un centinaio di metri dal mare. Si tratta di un tempio periptero di età classica, risalente presumibilmente intorno al 420 a.C., del quale rimangono solo il basamento e diversi blocchi delle strutture in arenaria tenera provenienti da una cava sommersa (Stanely *et al.*, 2007) nonché frammenti dell'alzato in calcare bianco "del tipo Siracusa"² (Orsi, 1916) (Fig. 2).

Scavi recenti hanno messo in luce piccole porzioni di massiciata relative al basamento del tempio e, sulla massiciata stessa, un altare più antico datato, sulla base dei pochi materiali rinvenuti, ad epoca arcaica (Parra, 2002). Abbastanza interessanti sono i risultati degli scavi pubblicati dalla Parra (Parra 2002; Parra 2003): "ad est degli altari, un piccolo saggio praticato attraverso la duna costiera ha permesso di identificare alcune strutture [...] che delimitavano ad est la terrazza del tempio". Inoltre sul lato orientale "fenomeni di cedimento della duna costiera, che compromettevano la statica dell'altare, costrinsero alla realizzazione di possenti muri di contenimento del terreno su cui era impostato l'altare stesso".

Dal punto di vista della ricostruzione "geologica" quanto sopra riportato ha due significati:

- la spiaggia su cui si affacciava il tempio era molto più ampia di quanto lo sia attualmente (Stanley *et al.*, 2007), forse ai margini di una laguna interna, quindi in posizione di sicurezza rispetto alle mareggiate;
- la duna su cui fu edificato il tempio era già allora poco coerente e con il peso del tempio tendeva a rifluire lateralmente per cui fu necessario costruire il muro di contenimento. In via del tutto ipotetica si può anche suggerire che la gradinata che limita il lato settentrionale del complesso templare avesse la stessa funzione di difesa della duna dallo schiacciamento oltre che la difesa dall'erosione esercitata dal piccolo corso d'acqua (non sappiamo se allora perenne, ma adesso del tutto scomparso) che lo limitava.

In mare, proprio di fronte a queste strutture, si trovano 201 pezzi litici fra blocchi



Figura 3 – Foto aerea della spiaggia nel 1994. La distanza fra la battigia e la duna è di circa 54,5 m.



Figura 4 – La distanza fra battigia e duna, nonostante l'apporto di materiale solido dovuto agli effetti della cd. "alluvione di Soverato" si è ridotta a 44,4 m.



Figura 5 – La distanza si è ulteriormente ridotta a 33 m nel 2006 (da Google Earth).

lavorati, semilavorati e grezzi, nonché fusti e rocchi di colonne in stile ionico (Iannelli *et al.*, 1993). Studi recenti sono in favore di uno sprofondamento della costa ionica in questo punto, del quale non è nota la data di inizio ma da attribuire probabilmente al debutto dell'Olocene (Stanley *et al.*, 2007). Il fatto che alcuni fra i blocchi sommersi abbiano la faccia inferiore fortemente corrosa, al contrario di altri, indica che, probabilmente, questo

sprofondamento è avvenuto (non si hanno prove che esso avvenga ancora oggi) a scatti, con fasi parossistiche (in questo caso il veloce sprofondamento è attestato dalla poca o nulla corrosione delle facce inferiori) e fasi di relativa stabilità (Iannelli *et al.*, 1993; Lena, Medaglia, 2002). Abbastanza noto è l'aspetto della costa in antico (Stanley *et al.*, 2007) costituita, a oriente della duna olocenica, da una striscia di sabbia sulla quale poggiavano

2 È la frase adoperata da Paolo Orsi nel resoconto che ne fece all'Accademia dei Lincei.

i pezzi litici adesso sommersi. Invece sfugge del tutto una sua definizione durante il Tardo Antico e il Medioevo e soprattutto nel corso della cd "piccola era glaciale", periodo durante il quale si realizzò l'assetto morfologico della maggior parte delle spiagge calabresi (Sorriso-Valvo, 1995).

dell'alluvione "detta di Soverato"), 33 m nel 2006, a valori quasi simili nel corso della stagione invernale 2009-2010. (Figg. 3-4-5)

Il mantenimento dell'ampiezza della spiaggia nel corso della stagione anzidetta, nonostante lo stato di erosione in atto, va spiegato come effetto del trasporto solido da

rose e di grande intensità, che sono arrivate a intaccare la base della duna sulla quale poggia il tempio con evidenti pericoli sulla sua stabilità (Fig. 6).

Lo stato di dissesto complica il mantenimento dei materiali sommersi che sono ricoperti dalla barra di foce citata ma anche parzialmente dall'accumulo dei sedimenti provenienti dall'erosione della spiaggia mentre il rimanente dei materiali sprofonda verso il fondo del mare Jonio.

Le soluzioni per la salvaguardia del tempio dorico sulla spiaggia e dei reperti litici appartenenti al tempio sommerso devono essere ricercate in operazioni di ingegneria naturalistica. Del tutto da scartare la soluzione del ripascimento artificiale che



Figura 6 – La duna su cui poggia il tempio dorico alla fine della stagione invernale 2009-2010.

Per gli ultimi due secoli l'evoluzione della spiaggia è ricavabile dall'esame della cartografia storica redatta mediante rapporti di scala geometrici e misurati.

Tralasciando, infatti, la cartografia rinascimentale a stampa, l'aspetto della costa, priva ancora del tempio sulla spiaggia, appare ben delineato nell'Atlante Marittimo del Regno di Napoli di G.A.Rizzi Zannone, edito alla fine del XVIII secolo. La spiaggia, a valle delle prime colline dell'entroterra, appare ben ampia e queste sono distanti dal mare.

Ancora meglio la situazione morfologica è rappresentata nella prima edizione del 1873 (il rilievo però è del 1870) nella Carta Topografica alla scala 1.50.000 dell'IGMI che delinea una spiaggia ampia almeno 120-150 metri.

Dopo l'edizione dell'Orsi, redatta dal Carta, una conferma viene dall'edizione a scala 1: 10.000 della carta topografica della Calabria edita dalla CASMEZ dove la distanza fra il tempio e il mare è di circa 100 metri.

Come si vede il fenomeno erosivo è andato via via aumentando ma si è accentuato negli ultimi decenni con riduzione continua del tratto di spiaggia antistante il tempio dorico che è passato da 54,5 m dalla riva del mare nel 1994, a 58 m nel 2001 (l'aumento della spiaggia si potrebbe definire come effetto

parte della fiumara Assi che delimita a nord la spiaggia stessa, notevolmente aumentato nel corso delle ultime stagioni invernali. Alla stasi degli effetti erosivi si contrappongono tuttavia gli effetti delle mareggiate, nume-

comporta, per essere duratura, la messa in opera di scogliere soffolte, come d'altra parte è avvenuto per la difesa del litorale qualche centinaio di metri più a sud. Si corre il rischio di perdere per sempre il tempio sommerso mentre le soluzioni vanno ricercate in operazioni di ripristino della duna antica (su cui fu edificato il tempio dorico) e della copertura sabbiosa recente.



Figura 7 – La Provincia di Crotona con i Promontori Japigi.



Figura 8 – Il promontorio di Capo Colonna. In primo piano lo stato di dissesto del complesso costituito dal Santuario della Madonna Nera, dalla torre di guardia cinquecentesca e dall'insediamento romano. Più lontana l'unica colonna superstite del tempio di Hera Lacinia.

CAPO COLONNA E IL TEMPIO DI ERA LACINIA A CROTONE

Un morfologia differente è alla base dei fenomeni erosivi che interessano *in toto* i Promontori Iapigi ed, in particolare, il tempio di *Hera Lacinia*, santuario nazionale dei greci d'occidente. Pur spogliato di ogni ornamento, resistette in piedi fino al XVI secolo quando fu distrutto per ricavare materiale per le fortificazioni di Crotona. Delle due colonne rimaste, una crollò nel corso di un terremoto nel XVII secolo, l'altra è quella che vediamo ancora oggi (Fig. 7).

Oltre alla colonna superstite sono coinvolti nell'azione erosiva l'abitato romano, una torre di guardia cinquecentesca e il santuario della Madonna Nera di Capo Colonna, patrona di Crotona (Fig. 8).

In tutti i promontori affiora un basamento di argille marnose plio-pleistoceniche (argille marnose di Cutro, Roda 1964), con intercalazioni siltose, sabbiose e ciottolose, spesso fossilifere. Esse sono sormontate da unità calcarenitiche a volte ben cementate e con aspetto di roccia massiccia; altre volte con aspetto cariato, caratteristica dovuta ad una cementazione disomogenea ed alla presenza di sottili lenti di sabbie siltose non cementate ma ben addensate.

L'area antistante Capo Colonna ha goduto negli ultimi anni di una certa quantità di studi promossi dal comune di Crotona, dalla A.M.P., dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici della Calabria, dall'Agip. I motivi sono molteplici: lo stato di estremo pericolo dell'unica colonna del tempio di Era Lacinia, la subsidenza notevole che interessa l'area intorno a Crotona³, la veloce erosione della costa che sembra essere recente se non contemporanea, l'inquinamento delle acque costiere su cui si trova la più grande area marina protetta d'Italia denominata "Capo Rizzuto".

Non è questa la sede per una discussione sulla subsidenza dei promontori Iapigi sulla quale esiste una notevole bibliografia (Guericchio *et al.*, 2000, Lena *et al.*, 2004) che comunque esiste e si oppone al sollevamento pleistocenico dell'area⁴.

3 Secondo diversi esponenti della cultura crotone e alcuni organi di stampa, del fenomeno è accusata l'ENI che estrae gas da pozzi ubicati in mare aperto ma che, secondo alcuni pescano in una formazione, quella di San Nicola, che si estende anche sulla terraferma, fin oltre Cutro.

4 Sia le superfici pianeggianti sia quelle subverticali che le separano rendono evidente un movimento di innalzamento che la ricerca geologica recente data a partire dal debutto del Pleistocene, cioè da circa 2 milioni di anni. Sul valore di questo sollevamento i pareri sono discordi visto che varia dagli 0,8 m/ka (Belluomini *et alii*, 1989), agli 0,4 m/ka (Palmentola *et alii*, 1990). Invece, lo sprofondamento della costa in corrispondenza di Capo Colonna ammonta a 1,2 cm/anno (Astori *et al.*, 2003)

La penisola è caratterizzata, procedendo da monte verso valle, da una serie di ripiani variamente dislocati a diverse altezze, separati da superfici sub-verticali assimilabili a vecchie falesie o a specchi di faglia di età molto recente.

La fisionomia della falesia è stata determinata, oltre che dall'azione erosiva del mare, dalla natura dei terreni affioranti e dalla loro giacitura tabulare.

La differente resistenza all'erosione provoca, nella parte superiore, crolli e/o ribaltamenti dei blocchi calcarenitici fratturati i quali si accumulano ai piedi delle falesie preservandole per brevissimo tempo da ulteriore erosione. Nei terreni argillosi del substrato l'erosione si esplica con strutture di tipo calanchivo.

La maggiore intensità erosiva si ha sui versanti esposti a sud-est e corrisponde alla direzione del vento predominante in quest'area. In queste condizioni, si ha che nella parte sommitale si creino fratture le quali, favorite dall'assenza di vegetazione e deteriorate dalle acque di infiltrazioni piovane, portano a spostamenti sub-verticali della coltre calcarenitica con successivi crolli ed arretramento del ciglio della falesia. Fenomeno questo in continua evoluzione testimoniato dalla presenza di fratture parallele a quelle che hanno determinato il distacco di parti della compagine rocciosa (Fig. 9).

L'arretramento è stato notevole negli ultimi secoli. I valori forniti, per Capo Colonna, sono leggermente diversi a seconda dei vari autori che si sono interessati dell'argomento variando da 125 m in 79 anni (dal 1890 al 1959) nel settore orientale e da 48 m in quello meridionale (Caselli *et alii* 2003), a 150 m in corrispondenza dello spigolo di NE e a 250 m in corrispondenza dello spigolo di SE in 110 anni (Chiocchini, 2000).

Rilievi recenti eseguiti per conto della A.M.P. da un gruppo di ricercatori (Lena *et alii*, 2004) portano a dimostrare come dal 1954, epoca della levata aerea nota come "volo base", ad oggi si sia avuto un arretramento ancora più accelerato.

Nel settore nord-orientale, fra Capo Colonna e la periferia meridionale di Crotona, recenti studi della Soprintendenza ai Beni Archeologici della Calabria (Marino *et al.*, 2010) valutano in almeno 300 m l'arretramento costiero e in 3,5 m l'abbassamento.

In linea generale le motivazioni del fenomeno possono essere ricondotte a varie motivazioni i cui elementi fondamentali sono (Lena *et al.*, 2004):

- scadenti caratteristiche tecniche dei materiali di copertura e del substrato argilloso;
- presenza di circolazione idrica sotterranea al contatto areniti/argille;

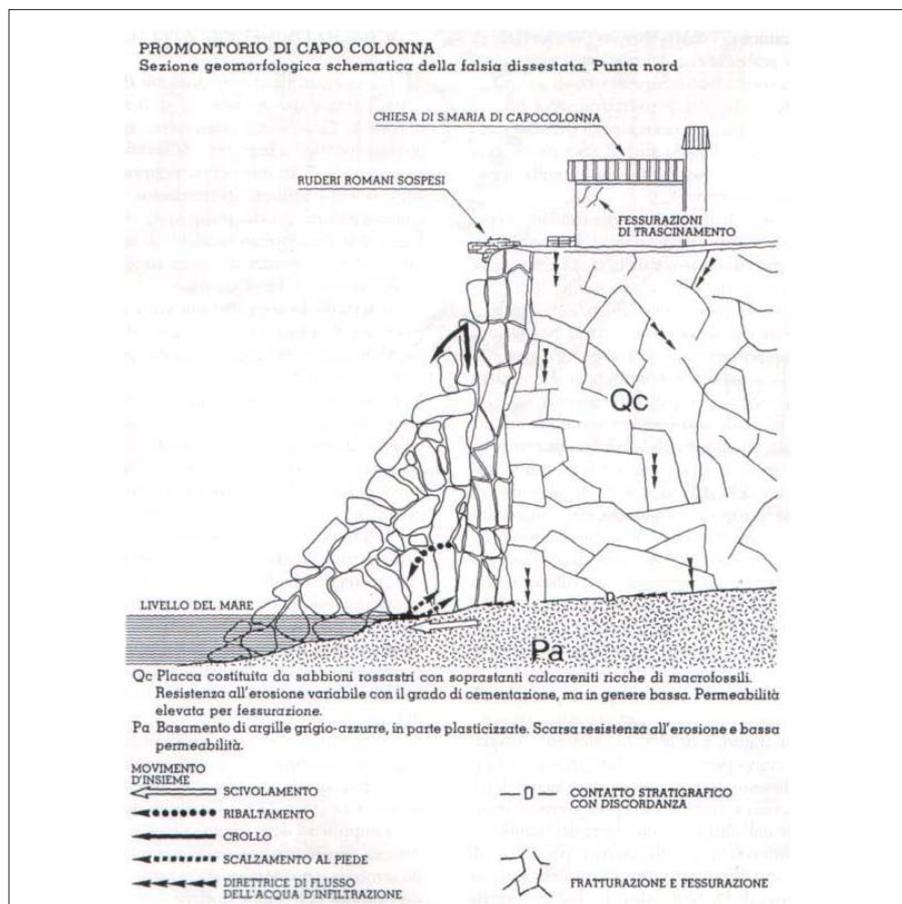


Figura 9 – Meccanismi dell'arretramento della falesia a valle del Santuario della Madonna di Capo Colonna (da Gisotti, in Caselli *et al.*, 2003).



Figura 10 – Variazione della linea di costa fra il 1955 e il 2000 (da Lena et alii, 2003-04).

- azione di compressione e decompressione operata dalle onde sulle argille della formazione pliocenico-calabrianiana di base,
 - diminuzione delle caratteristiche tecniche dell'argilla per una falda acquifera
- in pressione al contatto con le soprastanti calcareniti;
- aumento della capacità erosiva delle onde che oggi battono direttamente sulla falesia ma che in passato erano fermate

dalla presenza di ostacoli consistenti. Nonostante la grande incertezza che regna sull'esistenza o meno di isole (citata da Plinio e, almeno una, dallo Pseudo Scilace) ubicate non lontano dal promontorio lacinio (*Dioscoron, Calipsa, Tyris, Eranussa, Meloessa*), la loro presenza, frapposta alla direzione del moto ondoso principale, doveva servire a smorzare l'impatto delle onde che giungevano con meno violenza ed una ridotta capacità erosiva sulla falesia (Infantino, 1992; Guerricchio *et al.*, 2000; Lena *et al.*, 2004; Marino *et al.*, 2010). Ancora nel XVI secolo erano segnalate al largo di Le Castella nell'opera di Piri Reis (Marino *et al.*, 2010) che annota "un miglio di fronte ci sono due piccole isole: le navi possono passare tra le isole e il castello, ma il mare che le circonda è roccioso e per questo motivo non vi è riparo. Il posto è deserto" (Fig. 11).

Appaiono ancora nell'atlante nautico di Battista Agnese del 1553 (Marino *et al.*, 2010) mentre nella cartografia a stampa successiva (Prospero Parisi, Stigliola-Cartaro, Domenico De Rossi, ecc.) non vengono più citate a meno che i cartografi non fossero dotati di notevole cultura umanistica. La loro esistenza avrebbe difeso per alcuni secoli la costa dall'azione del mare, successivamente, sia per l'erosione sia per la subsidenza in atto sarebbero scomparse (Infantino 1992; Guer-

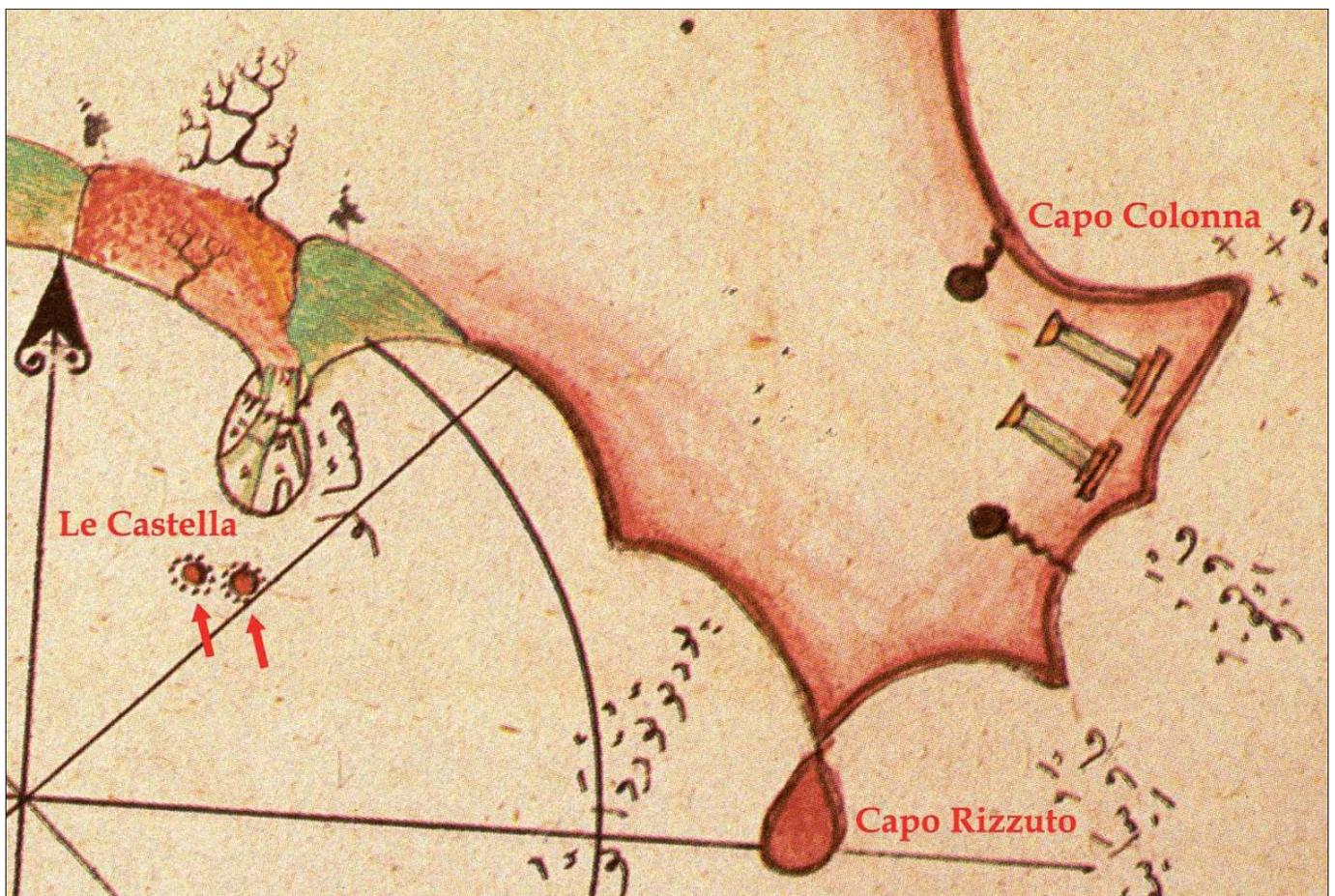


Figura 11 – Dettagli della carta di Piri Reis con le due isole davanti a Le Castella e scogli vari fra Capo Colone e Capo Rizzuto (da Marino *et al.*, 2009).

ricchio *et al.*, 2000; Guericchio, 2002; Lena *et al.*, 2004; Lena, 2008). D'altra parte se si considera che il *fetch* principale proviene da Alessandria d'Egitto (Procopio *et alii*, 1998) è comprensibile come il moto ondoso proveniente da sud-est abbia esercitato da sempre una energica azione erosiva.

- Il fenomeno dell'arretramento della falesia è comunque del tutto recente, datando da qualche secolo. Se infatti esso avesse avuto dall'antichità lo stesso ritmo odierno il tempio si sarebbe trovato a circa 2,5 km dal mare mentre nella letteratura antica esso ha sempre una connotazione marinara.
- Tendenza alla subsidenza, esistente già nell'antichità, ma accelerata oggi da fattori per ora non perfettamente noti (Lena *et al.*, 2004).

In conclusione si può affermare che l'azione erosiva del moto ondoso ha totalmente cambiato la fisionomia dei luoghi avendo assunto valori di notevole intensità, almeno negli ultimi 120-140 anni (misurabile attraverso la cartografia dell'IGMI).

Inoltre, nei dintorni di Capo Colonna (Chiocchini, 2000; Caselli *et al.*, 2003; Lena *et al.*, 2004), i fondali rendono evidente una minore erosione con scarso accumulo dei materiali franati in corrispondenza dello spigolo di nordest, perché velocemente trascinati in basso verso le maggiori profondità; la velocità di arretramento è invece maggiore nello spigolo di sudest con una progradazione della piattaforma su cui i detriti crollati vengono accumulati. In corrispondenza degli altri promontori l'arretramento è anch'esso notevole pur non raggiungendo i valori determinati per quello già descritto.

CONCLUSIONI

Le coste calabresi hanno subito nel corso dei secoli numerose modificazioni dovute sia a progradazione sia ad eventi erosivi sia agli effetti di una risalita del livello del mare più o meno rapida.

I fenomeni che si sono succeduti hanno avuto come risultato che le testimonianze dello stretto rapporto fra mare e comunità umane, indubbiamente esistite, sono adesso poche e sporadiche. Strutture sepolte dagli accumuli sabbiosi o, al contrario, demolite da una energica azione erosiva sono da tempo scomparse anche se le testimonianze letterarie fanno intravedere situazioni morfologiche ben diverse, note agli antichi, ma del tutto misteriose per noi.

Negli ultimi decenni le poche strutture conservate stanno subendo gli effetti delle azioni erosive marine al punto da correre il rischio che esse scompaiano per sempre. Fra queste le testimonianze maggiori della religiosità greca costituite da uno dei templi

di Kaulon, edificato sulla duna costiera non ancora diagenizzata alla odierna Marina di Monasterace, ma costruito intorno al 420 a.C. in posizione di estrema sicurezza, essendo separato dal mare aperto da una laguna costiera, ed il simbolo stesso della Calabria magno-greca che è la colonna superstite del tempio di Hera Lacinia sul Promontorio di Capo Colonna a Crotone. Anche esso fu edificato in posizione di estrema sicurezza, quasi a picco sul mare, ma difeso dagli effetti delle mareggiate da una serie di isole o comunque scogli la cui costituzione geologica (argille marnose di Cutro sormontate dai depositi calcarenitico-sabbiosi dei terrazzi) ha favorito episodi con liquefazione delle argille e crollo della copertura calcarenitica, testimoniati ancora oggi dalle numerose secche che ancora costellano il fondo del mare.

Situazione grave e il cui rimedio passa attraverso progetti pluridisciplinari redatti da geologi, ingegneri, architetti e archeologi.

BIBLIOGRAFIA

- ASTORRI M., ZOCCATELLI C. (2003), *Rilievi altimetrici nell'area crotonese: sintesi dei risultati, indagini in atto e sviluppi futuri*. In: G. LENA (ed.), *Problemi geoambientali nella costa tra Capo Colonna e Isola Capo Rizzuto*, Atti del Convegno A.M.P.-SIGEA (Le Castella, 28 aprile 2001), Crotone, 61-78.
- BELLUOMINI G., GLIOZZI E., RUGGIERI G., BRANCA E., DELITALA L. (1988), *First Dates on the Terraces of Crotone Peninsula (Calabria, Southern Italy)*, Boll. Soc. Geol. It. 107, 249-254.
- CASELLI G., COCCO E., GISOTTI G., SPADEA R. (2003), *Evoluzione geomorfologica di Capo Colonna (Crotone) nel periodo storico e i suoi rapporti col tempio greco di Hera Lacinia*, Boll. Serv. Geol. d'Italia, CXVII, 3-16.
- CHIOCCHINI U. (2000), *Dissesto e rischio sismico dell'area del tempio di Hera Lacinia a Capo Colonna*. In: Geoben 2000 (Torino 2000), 396.
- CORRADO M. (2001), *Nuovi dati sul limes bizantino nel Bruttium*, "Arch. Med.", XXVIII, pp.533-569.
- GUERRICCHIO A., RONCONI M.L. (1994), *Geologia e turismo nell'area crotonese*. In: E. ALOJ TOTARO (a cura di), *Ambiente e turismo: un equilibrio multimodale*, Rende 1994, 429-444.
- GUERRICCHIO A., CANTAFORA L., GUERRICCHIO M., PONTE M. (2000), *Discovery of submerged fixed archaeological structures in the Crotone coastal strip between Strongoli Marina and Le Castella (Calabria Region, Italy)*. In: L. CARBOGNIN, G. GAMBOLATI, I. JOHNSON, *Land subsidence*, Vol. I, 17-31.
- IANNELLI M.T., LENA G. (1986), *Modificazioni dell'antica linea di costa tirrenica in territorio di Briatico (CZ): la villa marittima di sant'Irene*. In: *Actes du colloques internationaux. Deplacements des lignes de rivage en mediterranee d'apres les donnees de l'archeologie*, publications du CNRS, Paris, 125-133.
- IANNELLI M.T., MARIOTTINI S., LENA G. (1993), *Kaulonia, rinvenimenti archeologici subacquei fra il tempio dorico e la foce della fiumara Assi*, "Archeologia subacquea" 1, 1-20.
- INFANTINO E. (1992), *Mar Dioscoron. L'ambiente marino della costa crotonese meridionale*, Crotone
- LENA G. S. (1989), *Hipponion-Valentia. Geografia e morfologia della fascia costiera e l'impianto del porto antico*, "Annali della scuola normale Superiore di Pisa", Classe di Lettere e Filosofia, S.III, XIX (2), 583-607.
- LENA G. (2003), *Caratteristiche geografiche e geoarcheologiche della fascia costiera tra Capo Colonna e Capo Rizzuto. Problemi di conservazione dei beni culturali e la pericolosità geologica dell'area*. In: G. LENA (a cura di), *Problemi geoambientali nella costa tra Capo Colonna e Isola Capo Rizzuto*, A.M.P. Capo Rizzuto, 19-30.
- LENA G. (2004), *Considerazioni su alcuni paesaggi costieri in Sicilia e in Calabria nell'antichità*, Atti del IV Congresso regionale dell'Ordine dei Geologi della Sicilia, 130-141.
- LENA G. (2009), *I porti della Calabria ionica*, in M. PAOLETTI (a cura di), *Relitti, porti e rotte nel Mediterraneo*, Univ. della Calabria-Provincia di Cosenza, 35-86.
- LENA G., MEDAGLIA S. (2002), *Variazioni della linea di costa antica fra Monasterace Marina e la foce della fiumara Assi*, "Geologia dell'Ambiente" X, 4, 19-22.
- LENA G., GUZZI R., SCERBO I., MEDAGLIA S. & CELLINI E. (2004), *Studio delle condizioni ambientali dell'area marina protetta "Capo Rizzuto". Subsidenza, erosione, condizioni chimico-biologiche ed attività metanifera*, Ministero Ambiente e Tutela del Territorio, Crotone.
- MARINO D. (1996), *Cave di età greca nella chora meridionale della polis di Kroton: note topografiche e tipologiche*. In: AA.VV., *Vir bonus docendi peritus*, Omaggio dell'Univ. dell'Aquila a Giovanni Garuti, 17-38.
- MARINO D., BARTOLI D., CORRADO M., LIPEROTI D., MURPHY D. (2010), *Prospezioni archeologiche subacquee a Crotone. Prima campagna 2009 tra le località Porto Vecchio e Tonnara*, "The Journal of Fasti on Line", Pubbl. di Associazione Internazionale di Archeologia Classica.
- ORSI P. (1916), *Kaulonia I, memoria*, "Mem. Acc. Lincei" XXIII, Roma.
- PARRA M.C. (2002), *Kaulonia, Caulonia Stilida (e oltre)*. Contributi storici, archeologici e topografici, I, Pisa 2001, Quaderni ANSP, 11-12.
- PALMENTOLA G., CAROBENE L., MASTRONUZZI G., SANSÒ P. (1990), *I terrazzi marini pleistocenici della penisola di Crotone (Calabria)*, Geogr. Fis. Dinam. Quatern. 13, 75-80.
- PARRA M.C. (2007), *Kaulonia, Caulonia Stilida (e oltre)*. Contributi storici, archeologici e topografici, II, Pisa 2004, Quaderni ANSP, 17-18.
- RODA C. (1964), *Distribuzione e facies dei sedimenti neogenici nel bacino crotonese*, "Geol. Romana" 3, 319-166.
- SCHMIEDT G., CHEVALLIER R. (1959), *Caulonia e Me-taponto. Applicazioni della fotografia aerea in ricerche di topografia antica nella Magna Grecia*, "L'Universo", 39. Firenze.
- SOLANO A. (1985), *Su una cava romana di granito a Nicotera*. In: P. PENSABENE (a cura di), *Marmi antichi. Problemi d'impiego, di restauro e d'identificazione*, Studi Miscellanei, 26 (1981-83), Roma, 86-87.
- SORRISO-VALVO M. (1995), *Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the holocene*, "European Paleoclimate and Man", 12, Strasbourg, 97-108.
- STANLEY J.D., BERNASCONI M.P., TOTH T., MARIOTTINI S., IANNELLI M.T. (2007), *Coast of ancient Kaulonia (Calabria, Italy): Its submergence, lateral shifts and use as a major source of construction material*. In: "Journal of Coastal Research", 22, 15-32.

L'impatto della dinamica costiera sulla conservazione del patrimonio culturale

I casi del sito archeologico di Egnazia e dell'isola di San Nicola (Puglia)

ROSA PAGLIARULO
CNR- Istituto di Ricerca per la Protezione
Idrogeologica. Bari

r.pagliarulo@ba.irpi.cnr.it

PREMESSA

Le fenomenologie naturali, alla base di radicali modificazioni morfologiche, che hanno condizionato l'evoluzione socio-culturale di antiche città al punto tale da determinarne l'abbandono o la scomparsa, sono molteplici e concomitanti tra loro. La comprensione di tali fenomenologie è di primaria importanza soprattutto quando vengono coinvolti siti e beni archeologici localizzati lungo la costa. Se si considera che nella nostra penisola tutte le più grandi civiltà del passato si sono sviluppate principalmente in aree costiere e che gli effetti causati dalla dinamica costiera sono sia di breve che di lungo termine, è necessario valutare gli impatti ai fini della pianificazione del territorio per la determinazione di interventi di mitigazione del rischio e per la salvaguardia del patrimonio culturale. Il sistema mare-terra emersa è in continua evoluzione poiché è funzione di condizioni locali e globali che variano sia per cause naturali sia per cause prodotte dall'azione antropica. Negli ultimi decenni la morfodinamica costiera sta subendo una forte accelerazione sia per gli effetti indotti dalle variazioni climatiche che determinano variazioni nel livello marino con vistosi fenomeni erosivi sia per l'urbanizzazione delle aree costiere.

Il presente lavoro è articolato in due sezioni in cui vengono descritti due esempi diversi che si riferiscono alla costa pugliese, il primo riguarda le vicissitudini del sito archeologico di Egnazia sulla costa adriatica, mentre il secondo è relativo ai fenomeni di instabilità che interessano le falesie dell'isola di San Nicola appartenente all'arcipelago delle Isole Tremiti laddove sorge l'abbazia Benedettina di Santa Maria.

IL SITO DELL'ANTICA EGNAZIA E IL TERRITORIO

Il sito archeologico di Egnazia, (l'antica Gnathia), è localizzato in prossimità dell'attuale linea di costa adriatica, a circa 60 km a Sud di Bari. La storia della città si è snodata nell'arco di molti secoli. Dal primo insediamento risalente all'Età del Bronzo (XV secolo a.C.), agli lapigi (XI secolo a.C.), mentre con il VIII secolo a.C. inizia la fase Messapica in cui il sito raggiunge il massimo splendore. Citata da Orazio, Strabone e Plinio il Vecchio, la città,

con l'occupazione romana, costituì certamente un importante nodo stradale e un centro attivo di traffici con la Grecia e l'Oriente, come testimoniato dalla presenza della via Traiana e da strutture portuali sommerse. Dopo alterne vicende la città declinò progressivamente in epoca tardo medioevale. I resti dell'antica città poggiano su una piana che si estende dal bordo dell'altopiano murgiano al mare (Fig. 1).

La geologia dell'area è rappresentata da calcareniti e calciruditi trasgressive sul substrato carbonatico cretaceo. La formazione calcarenitica, nota in letteratura come formazione dei Tufi delle Murge, (Plio- Pleistocene) è rappresentata da depositi calcareo-arenaceo e biocalcareni grossolani, poco cementate, di colore grigio-giallastro. Sono presenti livelli fossiliferi ad Ostrea e Pecten. Gli ammassi



Figura 1 – Il sito archeologico e la localizzazione del porto romano.

Il paesaggio è caratterizzato da una sequenza di superfici sub-orizzontali, inclinate leggermente verso il mare formatesi per abrasione marina a seguito delle fasi di sollevamento tettonico regionale e dei diversi livelli di stazionamento del mare sin dal Pleistocene medio. Tutto il territorio circostante è solcato da incisioni e valli, localmente denominate "lame", generalmente parallele tra loro e perpendicolari alla costa, che rappresentano un reticolo di drenaggio in cui i sedimenti vengono convogliati dall'altopiano Murgiano verso il mare in occasione di abbondanti piogge. Nella maggior parte dei casi presentano fondo piatto e fianchi mediamente inclinati. (Mastronuzzi & Sansò, 2002). Il litorale risulta inciso ed articolato in piccole baie e cale in corrispondenza dei punti di sbocco delle lame.

calcarenitici appaiono molto carsificati lungo i diversi sistemi di fatturazione presenti e quindi risultano facilmente vulnerabili all'azione demolitrice del mare che accelera la continua trasformazione della linea di costa. (Delle Rose *et al.*, 2002). A ciò si aggiunge l'azione antropica in quanto lungo costa le calcareniti sono state cavate e utilizzate in passato come materiale da costruzione. I tagli operati, ulteriormente elaborati dal moto ondoso, molto spesso hanno obliterato la morfologia costiera originaria.

LE VICISSITUDINI DEL PORTO E L'EVOLUZIONE DEL LITORALE

L'evoluzione geomorfologica della costa e le vicissitudini dell'antico porto sono state ricostruite sulla base della correlazione tra i

risultati dell'applicazione di un modello matematico (Cherubini *et al.*, 2008) al tratto di litorale prospiciente il sito archeologico e lo studio dei processi erosivi operati dall'azione marina legati alla dispersione e al deposito dei sedimenti che avvengono sia longitudinalmente che parallelamente alla linea di costa.

Notizie del porto e della sua localizzazione ci vengono trasmesse da Strabone e Tolomeo. L'ipotesi prevalente è che il porto di Egnazia avrebbe avuto, almeno nelle fasi iniziali, la funzione di scalo, tappa e porto di rifugio. Di

nell'insenatura a Nord-Ovest dell'acropoli. Notizie di un porto in funzione ci giungono da Strabone (60 a. C.-180 d.C.) e negli stessi anni da Orazio. Le strutture portuali sommerse si riferiscono a due moli in *opus caementicium*, convergenti, che mostrano tipologie edilizie e tecniche costruttive diverse. Il molo Nord è individuabile in due grandi plinti a forma di parallelepipedo, sul cui bordo per alcuni tratti è visibile la traccia del rivestimento murario in *opus reticulatum* mentre il molo Sud è distinto in tre blocchi di differenti dimensioni (Auriemma, 2004) (Fig. 2).

Considerando che il principale agente di trasformazione del litorale è il moto ondoso da vento, è stato utilizzato un programma matematico (Perfect Storm) che consente di elaborare, partendo dai dati del vento e delle mareggiate che hanno investito la costa di Egnazia, il complesso fenomeno del trasferimento di energia dal vento alle onde di caratteristiche tali da condizionare il trasporto dei sedimenti. Le caratteristiche del moto ondoso sono quelle sviluppate da ciascuna delle mareggiate individuate nell'intervallo di tempo compreso tra il 1951-2000. Sono stati infine correlati tutti i dati morfologici, climatici e i risultati del modello matematico e si è quindi ricostruita l'evoluzione di questo tratto costiero. Il moto ondoso suscitato dal vento risulta essere in stretta relazione con le condizioni climatiche, da ciò ne consegue che anche l'entità dei sedimenti trasportati è funzione delle condizioni climatiche. È stata anche analizzata la storia del clima negli ultimi 6000 anni con l'avvicinarsi di periodi piovosi, nei quali copiosi sedimenti, convogliati lungo le lame, sono giunti alla linea di battigia e si sono mossi lungo di essa, e periodi aridi durante i quali i sedimenti vengono erosi. L'analisi dei risultati del programma evidenzia che l'energia complessiva che il moto ondoso ha applicato all'attuale litorale di Egnazia è diretta verso Sud. Di conseguenza integrando i dati con la tipologia della costa in cui sono presenti insenature e cale, si evince che i sedimenti trasportati dal mare durante le forti mareggiate, se in grande quantità, tenderebbero a colmare le insenature e a formare una spiaggia antistante le cale stesse. Date le attuali condizioni climatiche, con un apporto solido, da parte delle lame, assolutamente nullo il litorale risulta in erosione, con la sola presenza di *pocket beaches* all'interno delle insenature prospicienti il sito archeologico. Le vicende del porto di Egnazia, quindi sarebbero in relazione con l'entità dei sedimenti trasportati e depositati lungo costa tenendo anche conto della risalita del livello del mare e del sollevamento

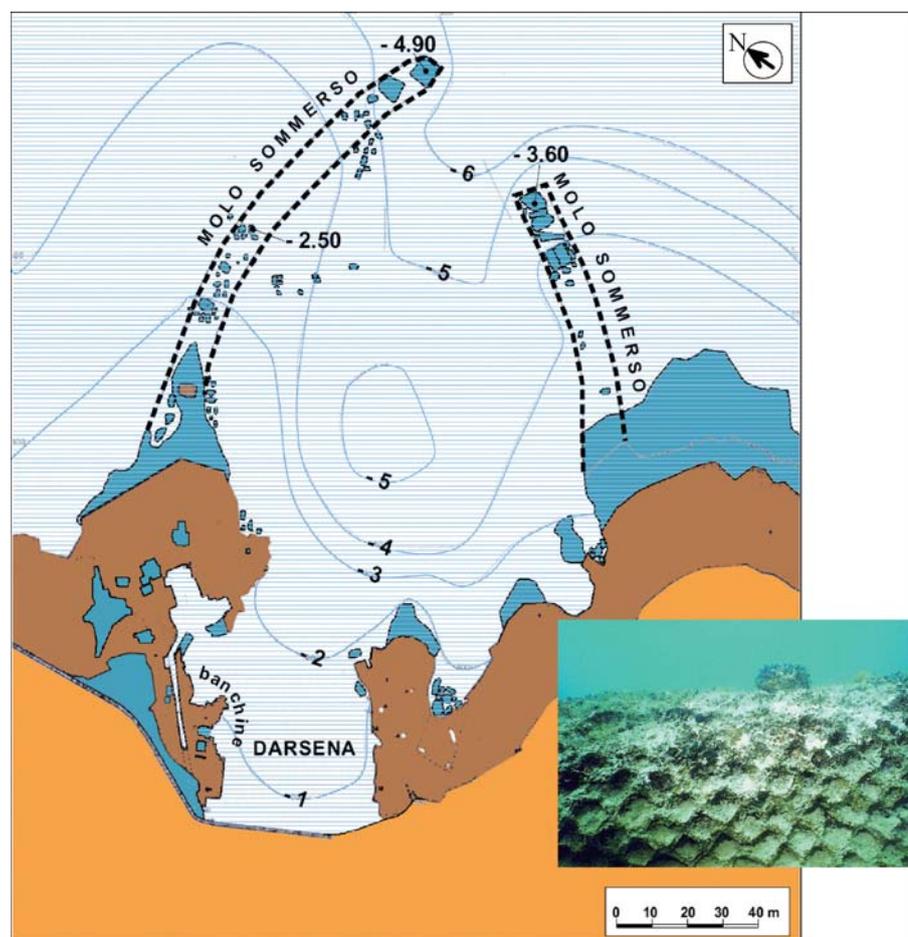


Figura 2 – Le strutture sommerse del porto (Di Ceglie, 1972; modificata) e particolare della struttura di rivestimento del molo Nord.

Ceglie (1972) osserva che la costa nell'intorno dell'antico abitato offriva cinque ancoraggi. L'insenatura più profonda e vasta, a Sud-Est, sede del più antico insediamento, ebbe la funzione di porto durante il periodo messapico, senza opere protettive e compatibile con l'ancoraggio alle imbarcazioni di un piccolo centro quale l'Egnazia dell'epoca. Schmiedt (1970) pose la sua attenzione sulle cale maggiori, le cui sponde risultano rettificata e conservano tracce di rientranze artificiali riscontrate in alcuni porti greci. In seguito, nel II e I secolo a.C., con il consolidarsi del dominio Romano, il centro messapico iniziò ad ingrandirsi per cui l'antico ancoraggio iniziò a non essere più sufficiente. L'andamento della linea di costa era variata e quindi fu realizzato un porto esterno

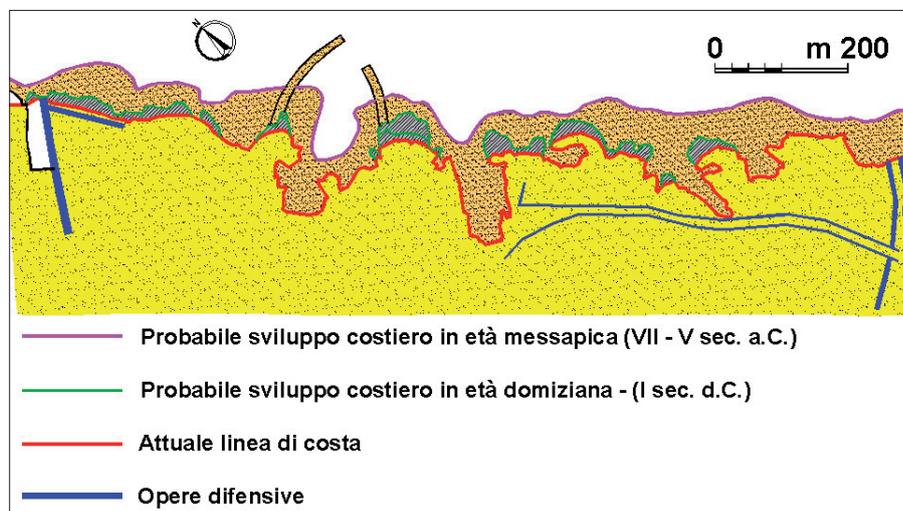


Figura 3 – Variazioni della linea di costa durante la storia di Egnazia (Donvito, 1988; modificata).

tettonico che in quest'area è valutato intorno a 0,08-1,1 mm/a (Milella *et al.*, 2007), (Lambeck *et al.*, 2004) (Fig. 3).

L'antropizzazione della costa ne ha cancellato i tratti originari, ma le tracce tuttora visibili nelle insenature sedi di possibili localizzazioni del porto possono essere spiegate con l'interrimento dei bacini e quindi il necessario trasferimento dei punti di approdo. Secondo questa ipotesi i resti sommersi del porto romano sarebbero stati in passato sepolti sotto una coltre di sedimenti e attualmente sarebbero visibili proprio in virtù della fase erosiva che li ha messi in luce. I meccanismi che regolano la dinamica costiera di quest'area potrebbero essere stati alla base delle scelte urbanistiche operate dagli abitanti di Egnazia e anche del successivo abbandono della città e del suo porto.

L'ISOLA DI SAN NICOLA (ARCIPELAGO DELLE ISOLE TREMITI)

L'isola di San Nicola è una delle isole più grandi che costituiscono l'arcipelago delle Isole Tremiti, localizzato a circa 25 km dalla costa garganica. Le altre sono San Domino, Capraia, il Cretaccio e la piccola isola di Pianosa, la più lontana, a circa 40 km dalla terraferma. Le isole sono da considerare di grandissima valenza sia dal punto di vista ambientale, turistico e storico-paesaggistico, sia per quanto attiene alla salvaguardia del patrimonio storico-artistico presente.

Le opere e i manufatti presenti nell'isola di San Nicola sono legati alla storia stessa delle isole Tremiti. Costituiscono opere difensive due fortini collegati da una muraglia con feritoie, e diverse torri. L'opera più notevole è rappresentata dalla fortezza dell'Abbazia. Nel IX secolo arrivarono alcuni monaci benedettini della potente Abbazia di Montecassino e venne avviata la costruzione della chiesa di Santa Maria a Mare e dell'adiacente Monastero Benedettino (1045). L'aspetto attuale della chiesa risente di una serie di trasformazioni: da quella operata nel 1755, ai restauri portati a termine nel 1964 dalla Soprintendenza ai Monumenti. Attraverso un portale ci si immette in un chiostro di epoca medioevale di forma quadrangolare. Si passa poi al chiostro rinascimentale la cui data di compimento, probabilmente, è quella riportata su uno dei medaglioni circolari che decorano la parte superiore degli archi. Di questa pregevole opera iniziata e portata a termine dall'abate Matteo Mecenate da Vercelli, resta oggi solo il porticato esposto a Nord. La piazza è chiusa dall'imponente mole del Cavaliere di S. Nicolò ultimo baluardo difensivo dell'isola. La Tagliata è il punto tra la fortezza e il pianoro di San Nicola che occupa estesamente quasi tutta l'area a Nord-Est, in cui il profilo topografico dell'isola si abbassa fortemente e si restringe, come se fosse stata tagliata artifi-

cialmente. Questa sorta di strozzatura, secondo la tradizione, sarebbe stata realizzata dai monaci Lateranensi durante i lavori di fortificazione dell'abbazia; molto più probabilmente invece fu causata da un violento terremoto. Dal punto di vista planimetrico l'isola di San Nicola ha forma allungata, con asse orientato in direzione NE-SO; presenta uno sviluppo costiero di circa 3700 m, una lunghezza di circa 1600 m, una larghezza massima alla base di circa 450 m ed una larghezza minima in corrispondenza della zona monumentale di 130 m alla base e di 70 m in sommità.

Dal punto di vista più strettamente geologico, nelle Isole Tremiti affiorano, non in continuità stratigrafica, sedimenti marini di età compresa fra il Paleocene ed il Pliocene medio-superiore, su cui poggiano in trasgressione depositi di origine continentale attribuibili al Pleistocene superiore e all'Olocene (Fig. 4).

et al., 1996; Andriani *et al.*, 2005; Lollino e Pagliarulo, 2008).

FENOMENI DI DISSESTO

L'intero perimetro costiero dell'isola di San Nicola è costituito da ripide pareti rocciose, interessate da diffusi fenomeni di instabilità, accentuati dalle condizioni geostutturali, essendo l'isola allungata secondo le direttrici tettoniche prevalenti e che hanno provocato, nel tempo, un inesorabile processo di arretramento del ciglio delle falesie, ormai lambenti l'area edificata.

Le cause di dette instabilità sono schematizzate in Fig. 5.

L'assetto geologico-strutturale e i litotipi presenti costituiscono la causa primaria dei fenomeni di dissesto a cui si aggiunge l'azione del mare, sia per erosione alla base dovuta al moto ondoso sia per effetto di corrosione pellicolare

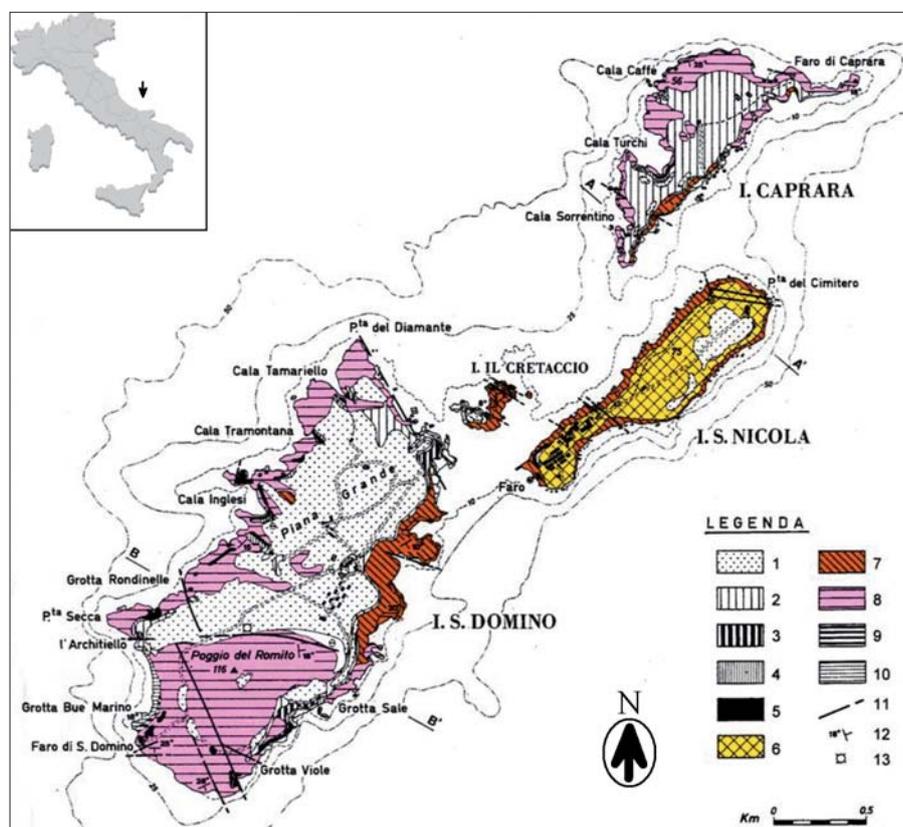


Figura 4 – Geologia dell'arcipelago: 1) Loess bruno (Pleistocene sup.); 2) Crostone (Pleistocene medio-sup.); 3) Loess giallastro (Pleistocene medio-sup.); 4) Loess e ghiaie rosse (Pleistocene medio); 5) Conglomerati e calcari marnosi rossi (Pleistocene medio); 6) Formazione di S. Nicola (Pliocene medio); 7) Formazione del Cretaccio (Miocene medio-superiore); 8) Formazione di S. Domino (Eocene inf.-medio); 9) Formazione di Capraia (Eocene inf.); 10) Formazione del Bue marino (Paleocene); 11) Faglie; 12) Direzione e pendenza degli strati; 13) Pozzo Tremiti 1.

L'assetto generale delle successioni cenozoiche è monoclinale con immersione a SE di $10^\circ \div 20^\circ$. Nell'ambito della complessa geodinamica dell'area mediterranea le Isole Tremiti costituiscono lembi isolati della piattaforma apulo-garganica e rappresentano un alto strutturale dovuto ad un movimento compressivo lungo la linea delle Tremiti. Questa lineazione tettonica ad andamento E-W viene interpretata come struttura di svincolo tra due settori, a comportamento geodinamico differente, della placca adriatica. (Dogliani

e talora desquamazione superficiale connessi all'aggressione dello "spray marino". La forma allungata dell'isola è pressoché configurata a "lama di coltello" e costituita da rocce che, alla base, sono da considerarsi "tenere" (calcilutiti e calcisiltiti della Formazione del Cretaccio – Miocene medio-superiore), scarsamente diagenizzate e quindi fortemente erodibili. Gli effetti di queste azioni sono ben visibili lungo il perimetro dell'isola e sono rappresentati da intensi fenomeni di sottoescavazione, che determinano condizioni di aggetto e strapiombo,

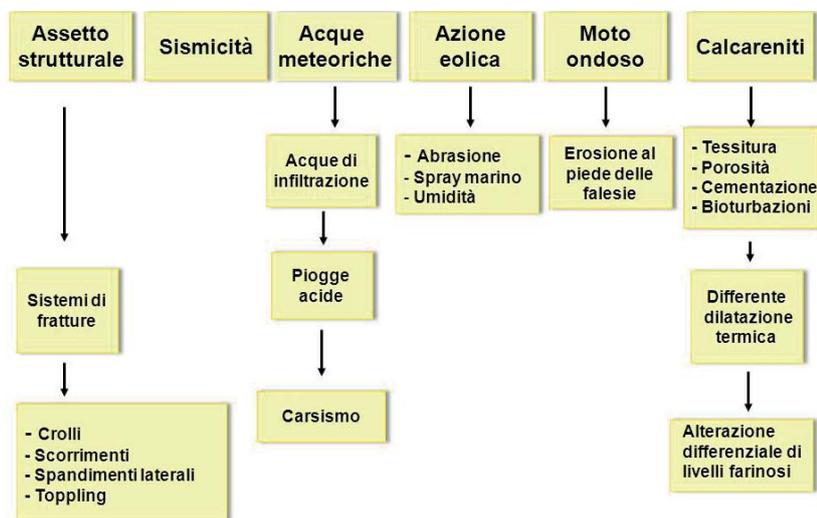


Figura 5 – I fattori che determinano la instabilità delle falesie perimetrali dell'isola di San Nicola.

soprattutto al contatto tra la formazione basale e i sovrastanti livelli calcarei e dolomitici della Formazione di San Nicola, (Pliocene medio). Questa formazione, sebbene più tenace della sottostante, è interessata da meccanismi di crollo, indotti dalla condizione di aggetto anzidetta e dallo stato di tettonizzazione e di intensa conseguente fratturazione causando una inarrestabile e progressiva azione demolitrice della

gressivi multipli correlati ad un tipico esempio di “contrasto di competenza” esistente tra gli strati originariamente compatti e a comportamento meccanico rigido-fragile superiori e gli strati calcarenitici meno resistenti è più facilmente soggetti a fenomeni di plasticizzazione, favoriti anche da processi di imbibizione da infiltrazione di acqua piovana. Questi livelli basali risultano più suscettibili alle deformazioni sotto

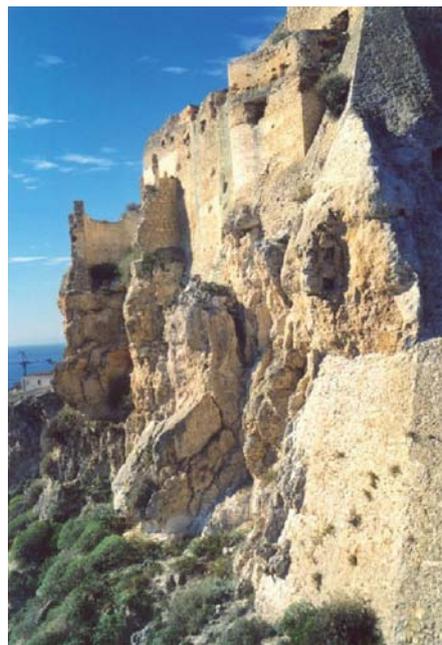


Figura 6 – Alcuni esempi dello stato delle falesie dell'isola di San Nicola. In senso orario: la costa Nord in cui è visibile il passaggio tra la Formazione del Cretaccio e la Formazione di San Nicola in alto; blocchi in bilico al di sotto del muro perimetrale dell'Abbazia con il parziale crollo della torre angioina (costa Sud-Est); una frattura parallela alla linea di costa Sud-Est presente nella Formazione di San Nicola.

parete rocciosa. Ciò avviene sotto forma di distacco, ribaltamento e successivo rotolamento di grossi blocchi poliedrici di roccia alla base delle falesie. Si viene così a creare una scogliera naturale innescando una sorta di meccanismo di “autodifesa” della costa stessa e rallentando in un certo senso il processo di demolizione. I meccanismi di innesco dei fenomeni franosi descritti sono complicati da scivolamenti retro-

l'effetto delle sollecitazioni indotte dal peso degli ammassi rocciosi sovrastanti (Fig. 6).

Le deformazioni sono più accentuate in corrispondenza della porzione esterna dell'ammasso, laddove il substrato calcarenitico è maggiormente esposto agli agenti esogeni che ne degradano le proprietà di resistenza meccanica. (Cotecchia *et al.*, 1995). I cedimenti differenziali che si verificano al piede dei calcari sommita-

li favoriscono la formazione di meccanismi di fratturazione e successivamente di fratture di estensione subverticale. I fenomeni di spandimento laterale sono invece caratterizzati da movimenti differenziali sub-orizzontali tra blocchi.

Inoltre, sebbene fonti storiche non riportino notizie di danni di terremoti, forse per la mancanza di riscontri certi nei racconti dei pochi abitanti, per la particolare posizione strutturale, l'area va considerata ad alta sismicità.

La ricerca ha presentato aspetti molteplici, tutti di interesse geologico- applicativo e tutti finalizzati alle tipologie di intervento atte a rallentare in qualche misura il degrado delle rocce affioranti in punti di particolare fragilità dovute alle scadenti caratteristiche geo- meccaniche dei litotipi per erosione differenziale e a mitigare i fenomeni di crollo.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRIANI G.F., WALSH N., PAGLIARULO R. (2005), *The influence of the geological setting on the morphogenetic evolution of the Tremiti Archipelago (Apulia, Southeastern Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences 5. 29-41.
- AURIEMMA R. (2004), *Salentum a Salo (Vol. 1). Porti, approdi, merci e scambi lungo la costa adriatica del Salento*, Lecce.
- CHERUBINI C., GENTILE G. M., PAGLIARULO R. (2008), *I sedimenti nella evoluzione storica del tratto costiero prospiciente il sito archeologico di Egnazia, Geologi e Territorio*. Periodico di Scienze della Terra n. 3/ 4, pp. 193-200.
- COTECCHIA V., GUERRICCHIO A., MELIDORO G. (1995), *Geologia e processi di demolizione costiera dell'isola di S. Nicola (Tremiti)*. Atti I Conv. Gruppo Naz. Geol. Appl. Geologia Applicata e Idrogeologia, 30, 1, 491-507.
- DELLE ROSE M., PAGLIARULO R., PARISE M. (2002), *Some insight for the evolution of the Adriatic coastline, as inferred from research at the archaeological site of Gnathia (Apulia, Southern Italy) GI2S Coast*, Research Publication 1, 69-72.
- DI CEGLIE S. (1972), *Il porto di Egnazia*. Fasano.
- DOGLIONI C., TROPEANO M., MONGELLI F., PIERI P. (1996), *Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an “anomaly” in the apenninic foreland.*, Mem. Soc. Geol. It. 51, 101-117.
- DONVITO A. (1988), *Egnazia - Dalle origini alla riscoperta archeologica*. Schena Editore, Fasano, pp. 176.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A., SILENZI S. (2004), *Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr*. Quaternary Science Reviews, 23, 1567-1598.
- LOLLINO P., PAGLIARULO R. (2008), *The interplay of erosion, instability processes and cultural heritage at San Nicola Island (Tremiti Archipelago, Southern Italy)*, Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 31, 161-169.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P. (2002), *Pleistocene sea-level changes, sapping processes and development of valley networks in the Apulia region (Southern Italy)*, Geomorphology, 46, 19-34.
- MILLELLA M., PIGNATELLI C., DONNALOIA M., MASTRONUZZI G. (2007), *Sea level during 4th-2nd century B.P. in Egnazia (Italy) from archaeological and hydrogeological data*. Il Quaternario 19 (2), 251- 258.
- SCHMIEDT G. (1970), *Atlante Geografico delle Sedi Umane in Italia*. Firenze.

1. IMPATTO ANTROPICO E ADATTABILITÀ

Una costa sabbiosa è continuamente sottoposta all'azione del moto ondoso e degli agenti meteorici: la sua morfologia è dinamica.

La sua relativa stabilità dipende dalla vegetazione consolidante. Ciò implica diversi fattori convergenti.

Il primo è l'acqua freatica. Se l'uso di pozzi poco profondi fa abbassare la falda freatica al di sotto di un livello critico, le piante che stabilizzano la duna muoiono.

D'altro canto, se si arresta il trasporto solido litorale mediante la costruzione di frangiflutti o di altre difese longitudinali o trasversali, si intercetta la fonte di sabbia che alimenta la duna.

Il fattore finale è la vegetazione dunale, che è estremamente vulnerabile al calpestio.

Abbiamo ora un codice di divieti fondamentali:

- non calpestare l'erba delle dune;
- non abbassare la falda freatica al di sotto del livello critico;
- non interrompere il trasporto litorale.

Questi divieti assicureranno la conservazione di una barra di sabbia naturale e la sua vegetazione autoctona.

Considerando ora il problema dell'urbanizzazione delle coste sabbiose, l'approccio più ragionevole è quello di esaminare la tolleranza dei vari ambienti all'uso umano in generale e ad alcuni usi specifici.

La prima zona è la spiaggia e fortunatamente essa è molto tollerante. Le maree la puliscono due volte al giorno dagli avanzi lasciati dagli uomini. Le creature che vivono in questa zona lo fanno per lo più nella sabbia, e così sfuggono alla distruzione da parte dell'uomo.

La zona immediatamente successiva, la duna primaria, è completamente diversa: è assolutamente intollerante. Non sopporta di essere calpestata e deve essere proibita all'uso. Se la si deve attraversare (come bisogna fare per raggiungere la spiaggia) bisogna farlo mediante delle passerelle sopraelevate. Inoltre, se si vuole che la duna offra una difesa contro le mareggiate e le inondazioni, non bisogna praticarvi dei varchi. Di conseguenza, sulla duna primaria non si dovrebbe per-

mettere nessuna costruzione, non dovrebbe essere consentito passeggiarvi sopra e non si dovrebbe aprirvi dei varchi in nessun punto.

L'avvallamento è molto più tollerante, e può essere urbanizzato. Naturalmente, esso è più protetto della duna dalle mareggiate, dal vento e dalla sabbia. Qui il problema è l'acqua freatica. La vegetazione che occupa questa zona esiste solo grazie alla relativa abbondanza d'acqua dolce. Se il livello di quest'acqua dovesse essere abbassato, le piante morirebbero. Questo potrebbe accadere a causa dell'uso di pozzi, ma potrebbe anche essere provocato da tetti e pavimentazioni che deviano il deflusso superficiale verso canali di scolo o sistemi di fognature.

La duna interna è la seconda linea di difesa ed è vulnerabile come la duna primaria. Anch'essa è intollerante e dovrebbe essere lasciata allo stato naturale. Il retroduna, invece, è un sito più permissivo ed è forse l'ambiente più adatto all'uomo su tutta la fascia di sabbia. Normalmente vi cresce una vegetazione arborea: pini e ginepri (fenici o coccoloni). L'ombra di questi alberi è un sollievo dalla luce abbagliante e dal caldo che caratterizzano le altre zone.

L'acqua dolce è più abbondante in questo ambiente che in qualsiasi altro – un fattore importante per l'urbanizzazione.

L'ultima zona è la laguna (o la baia). Non è molto noto che gli ambienti degli estuari, delle lagune e delle baie sono i più produttivi del mondo, superando gli esempi più noti delle risaie e delle coltivazioni di canne da zucchero. È in queste località, ricche di sostanze nutritive, che molti pesci si riproducono e crescono, e che vivono i molluschi più apprezzati. Esse sono il terreno di cova e la dimora dei più importanti uccelli acquatici. Non devono essere usate come discariche.

Interrare le paludi e costruirci sopra vuole dire provocare inondazioni e destabilizzare le fondazioni. Le paludi non sono state fatte per essere "bonificate". Costituiscono un valore attuale e un reale pericolo per l'insediamento umano.

In conclusione, le sezioni più strette della fascia costiera sabbiosa non dovrebbero essere urbanizzate, perché è qui che ci sono maggiori probabilità che si aprano dei varchi. Ma, nella ricerca di un ambiente favorevole all'uomo, abbiamo scoperto una situazione molto fortunata. L'ampiezza di una duna tende a dipendere dalla sua altezza e dall'angolo di

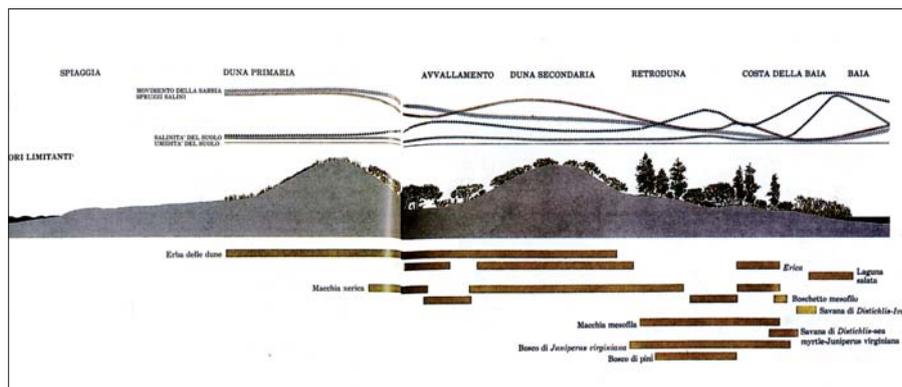


Figura 1 – Interazione tra geomorfologia, vegetazione e idrologia nelle successioni dunali (da L. Ian McHarg, 2007).



Figura 2 – Interazione tra geomorfologia e inquinamento nelle successioni dunali (da L. Ian McHarg, 2007).

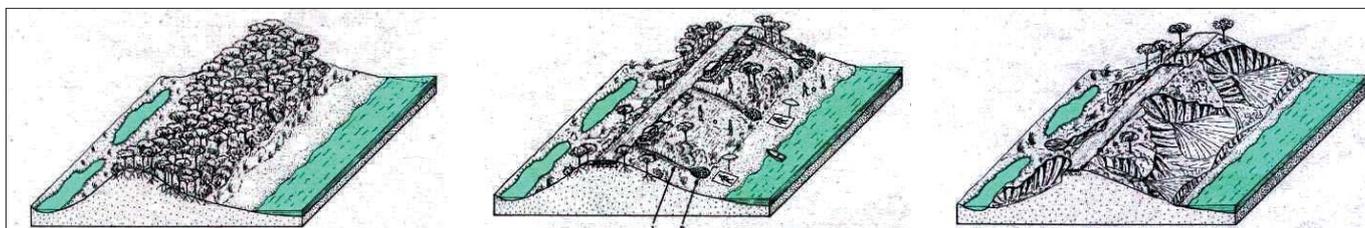


Figura 3 – Effetti della costruzione di una strada su di una duna litoranea (da WWF Ravenna, 2008).

riposo (o angolo massimo di naturale declivio) della sabbia stabilizzata; perciò le dune primaria e secondaria non occupano molto spazio, e il retroduna, più pianeggiante, tende ad essere la più ampia di tutte le componenti del litorale, ed è qui, fortunatamente, che si trovano gli ambienti più piacevoli, vari, sicuri e tolleranti.

2. METODOLOGIA

Lo schema presenta un diagramma di flusso per aiutare il gestore del litorale nel passare dall'osservazione dell'erosione all'attuazione di un piano di gestione. Questo processo è fortemente legato al monitoraggio.

La tabella riassume le potenziali risposte a diverse situazioni di rischio generalizzato in base alla natura delle attività a rischio. La selezione di specifici approcci dipenderà dalle caratteristiche del sito.

Altri fattori, come i processi costieri, l'accesso al sito, la disponibilità di materiali e manodopera, l'accettabilità di un impegno di gestione a lungo termine, un uso ricreativo della zona, le risorse finanziarie e gli interessi di conservazione del sito potranno anche svolgere un ruolo nel processo decisionale.

La tabella permette di valutare i diversi impatti, costi e durabilità relativi ai diversi interventi possibili, aiutando il gestore nella scelta della soluzione più idonea al sito in questione.

La tabella successiva permette di individuare le minacce possibili, gli indicatori di qualità ambientale e le azioni di intervento di ripristino per gli ambienti dunali e i posidonieti delle spiagge sommerse, tra loro correlati attraverso le spiagge emerse. Tutti i sistemi di gestione delle dune devono osservare le seguenti linee guida al fine di massimizzare la probabilità di successo e di ridurre al minimo gli impatti sull'ambiente naturale e umano:

- Ogni sito soggetto ad erosione dunale deve essere considerato indipendentemente, con approcci di gestione su misura per il sito specifico
- Una politica di "gestione adattativa" (opzione zero) dovrebbero essere considerata per tutti i siti prima che siano valutate altre opzioni.
- Un lavoro non deve essere intrapreso prima che il sistema spiaggia-duna e i processi di geomorfologia costiera siano stati controllati nell'arco di diversi anni e sia stata stabilita una ragionevole comprensione dell'ambiente fisico e naturale.

Risposte affrettate all'erosione possono rivelarsi sia inutili che dannose.

- Nessun lavoro a carattere permanente dovrebbe essere intrapreso a meno che siano a rischio attività importanti inimmovibili o insostituibili.
- Gruppi di interesse locali, come ad esempio proprietari terrieri, associazioni pro natura, associazioni di pesca e fruitori turistici, dovrebbero essere consultati preventivamente per garantire che una visione ampia del litorale e della zona limitrofa siano considerate prima di attuare un particolare approccio di gestione.
- Un esame deve sempre essere dedicato agli eventi meteorologici ed ondometrici estremi sia a lungo termine che a "medio" e breve termine per determinare l'aspettativa di vita di tutte le operazioni.
- Vanno anche considerate le conseguenze del fallimento, come i detriti da costruzione dispersi lungo la spiaggia, i rischi per la sicurezza pubblica, la perdita di accesso turistico, il degrado del paesaggio, ecc.
- Il lavoro dovrebbe essere pianificato e programmato per limitare i danni agli ecosistemi fragili e al turismo sostenibile. È opportuno prendere in considerazione la vegetazione, la nidificazione e la migrazione degli uccelli, gli invertebrati, la pesca, l'accesso del pubblico, i livelli di rumore e la sicurezza pubblica.
- Tutto il personale in loco deve essere reso consapevole della necessità di un attento lavoro pratico al fine di evitare danni ambientali, e per evitare pericoli connessi con i fronti ripidi e instabili delle dune.

- Una gestione temporanea o permanente delle vie di accesso ai versanti delle dune per i materiali, le attrezzature e la mano d'opera deve essere pianificata e realizzata in modo da ridurre al minimo i danni da calpestio alle dune e da limitare la formazione di buche.
- Camminamenti o altre superfici temporanee dovrebbe seguire il naturale contorno delle dune piuttosto che tagliarle con linee rette esponendole al rischio di erosione eolica. Delle schermature dovrebbero essere utilizzate per stabilizzare la sabbia adiacente al percorso.
- Vie di accesso pubblico alla spiaggia devono essere chiaramente definite e recintate, se necessario, per evitare che, con il calpestio, possano portare a buche.
- Cartelli educativi posti in zone retrostanti le aree di parcheggio auto o lungo i sentieri dovrebbero essere utilizzati per spiegare i sistemi di gestione, incoraggiare l'interesse del pubblico e supportare gli obiettivi di gestione.
- Segnali di avvertimento dovrebbe essere installati mettendo in evidenza i pericoli di instabilità delle superfici dunali, qualsiasi lavoro di costruzione in corso o qualsiasi altro pericolo connesso con la gestione del sistema (fessure nelle strutture in roccia, la crescita di alghe scivolose, difese sepolte, strutture sommerse, depositi di fango, ecc.).
- Un progetto di monitoraggio successivo dovrebbe essere effettuato almeno ogni due anni per valutare l'evoluzione della spiaggia-duna e il successo dello schema relativo agli obiettivi.

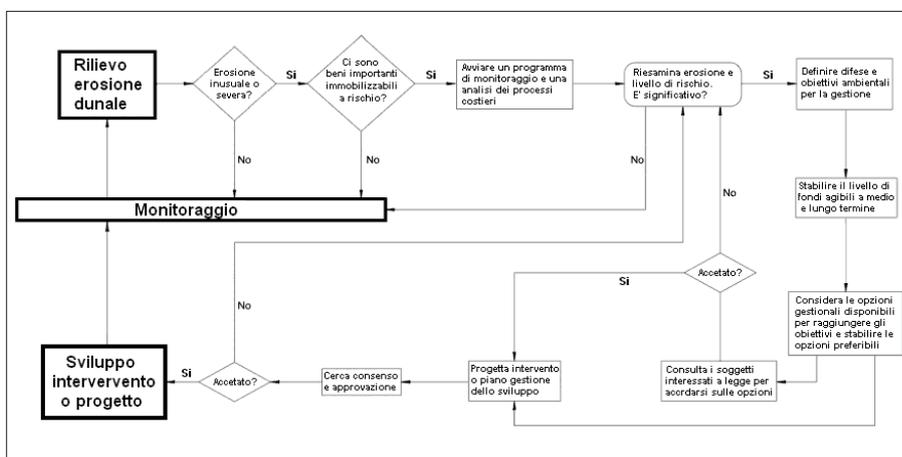


Figura 4 – Pianificazione della gestione dune e diagramma di flusso di attuazione (da Scottish Natural Heritage, 2004).

Tabella 1 – Selezione di opzioni di gestione del litorale per sistemi spiaggia / duna basata su attività a rischio (da Scottish Natural Heritage, 2004)

Questa tabella è puramente indicativa. La selezione di uno specifico approccio da adottare dipenderà anche da fattori come i processi costieri, gli accessi al sito, la disponibilità di materiali e manodopera, l'accettabilità di un impegno di gestione a lungo termine, un uso ricreativo della zona, le risorse finanziarie e gli interessi di conservazione del sito.

Attività a rischio	Coste esposte		Estuari	
	approcci	costi indicativi per 100 ml in €	approcci	costi indicativi per 100 ml in €
Habitat e geomorfologie costiere	Non intervento od opere minori per migliorare la conservazione di sabbia (ad es. schermatura, piantumazione, ricopertura)	0 - 15.000	Come per le coste esposte	
Basso valore economico o breve vita residua (<5 anni) (ad esempio pascoli, aree di pregio, campi da golf e vie d'acqua navigabili, aree con esercitazioni militari, ecc.)	Abbandonare o ricollocare le attività altrove (gestione adattativa), oltre a opere minori per ritardare le perdite di suolo (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura)	0 - 15.000	Come per le coste esposte. Se la zona retrostante a rischio di inondazione è ampia, può essere necessario arginare le aree interne	0 - 15.000
Beni mobili o sostituibili (ad esempio roulotte, aree verdi, parcheggi, edifici turistici, ecc.)	Spostare o ricostruire le attività dell'entroterra (gestione adattativa), oltre a opere minori per ritardare l'inizio dello spostamento (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, sacchi di sabbia o rivestimenti in gabbioni)	0 - 45.000	Come per le coste esposte. Se la zona retrostante a rischio di alluvione è ampia, può essere necessario arginare le aree interne	0 - 45.000
Discreta attività, da moderato ad alto valore e vita residua da media a lunga (> 5 anni)	Gestione adattativa per il fronte principale, oltre a: - Promontori in pietrame o gabbioni; - Frangiflutti prossimi alla riva; - Scogliere artificiali, oltre a opere minori per ritardare l'erosione tra le strutture (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, rivestimenti in gabbioni).	30.000 - 180.000	- Promontori in pietrame o gabbioni; - Pennelli per deviare i flussi; - Opere minori aggiuntive per ritardare l'erosione tra le strutture (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, sacchi di sabbia o rivestimenti in gabbioni); - Possono anche richiedere terrapieni anti-alluvione all'interno se sono previste attività da proteggere su terre basse.	15.000 - 75.000

Attività a rischio	Coste esposte		Estuari	
	approcci	costi indicativi per 100 ml in €	approcci	costi indicativi per 100 ml in €
Moderato valore economico o vita residua media (5-25 anni) (bassa densità abitativa, strade, grandi aree attrezzate per roulotte, installazioni militari, ecc.)	- Serie di frangiflutti prossimi alla riva; - Pennelli in pietrame (su spiagge con sedimenti misti dove la deriva litoranea è attiva e l'erosione sotto costa non è un problema); - Ripascimento della spiaggia (con futuro rinalzo/riciclo, e possibilmente protetto con opere in pietrame o gabbioni); - Rivestimento in pietrame (gabbioni o legname se una durata di 10-15 anni è accettabile); - Opere minori aggiuntive per migliorare il paesaggio/habitat (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, riciclaggio).	75.000 - 375.000	- Pennelli in pietrame per deviare il flusso (eventualmente con ripascimento della spiaggia e futura ricarica); - Dragaggio e riciclo dopo un regime di flusso sedimentario; - Rivestimento in pietrame o gabbioni; - Opere aggiuntive minori per ritardare le perdite da erosione tra le strutture (ad esempio schermatura, piantumazione, ricopertura, spiaggia riciclata, rivestimenti in gabbioni).	30.000 - 150.000
Elevato valore economico e lunga vita utile residua (> 25 anni) (alta densità abitativa, ferrovie, strade principali, impianti industriali, centrali elettriche, ecc.)	Larghi rivestimenti in pietrame (eventualmente con pennelli e/o ripascimenti della spiaggia con future ricariche/ricicli), con aggiunta di opere minori per migliorare l'aspetto/habitat (ad esempio schermature, piantumazioni, ricoperture, riciclaggi)	150.000 - 600.000	Estesi gabbioni o rivestimenti in pietrame con pennelli per deviare i flussi (eventualmente con ripascimento della spiaggia e futura ricarica)	75.000 - 300.000

Tabella 2 – Costi, durabilità e potenziali impatti ambientali connessi con gli interventi di gestione del litorale (da Scottish Natural Heritage, 2004)

OPZIONE	IMPATTI (1)				COSTI		DURABILITÀ
	Habitat	Morfologia	Paesaggio	Processi	Investimento	Manutenzione (2)	Vita utile (3)
Gestione adattativa	■	■	■	■	-	■	■■■■■
Piantumazione	■	■	■	■	■	■■■	■
Ricopertura	■	■	■	■	■	■■■	■
Schermatura	■	■	■	■	■	■■■	■
Riciclaggio della spiaggia	■	■	■	■	■	■■■	■
Strutture in sacchi di sabbia	■	■	■	■	■	■	■
Drenaggio della spiaggia	■	■	■	■	■	■	■
Ripascimento	■	■	■	■	■	■■■	■
Rivestimento in gabbioni (4)	■	■	■	■	■	■	■■■
Promontori artificiali	■	■	■	■	■	■	■■■
Scogliere artificiali	■	■	■	■	■	■	■■■
Frangiflutti prossimi alla riva	■	■	■	■	■	■	■■■
Pennelli	■	■	■	■	■	■	■■■
Rivestimenti in pietrame (4)	■	■	■	■	■	■	■■■■■
Rivestimenti in legname (4)	■	■	■	■	■	■	■■■
Rivestimenti impermeabili / Muri a mare	■	■	■	■	■	■	■■■

Legenda:

(■ = basso, ■■■■■ = alto)

Note:

1. Impatti al di là della durata dell'intervento.

2. Costi di manutenzione in relazione ai costi di investimento (per mantenere le prestazioni di progettazione).

3. Durata delle prestazioni senza manutenzione.

4. Se coperti da sabbia sul fronte dunale gli impatti relativi a queste soluzioni sono minori e la durabilità è maggiore; i costi di investimento possono essere maggiori, ma i costi di manutenzione saranno minori.

Tabella 3. – Minacce, indicatori di qualità ambientale e azioni di restauro per dune e posidonieti

HABITAT	MINACCE	INDICATORI	AZIONI DI RESTAURO
Dune consolidate	Erosione costiera	Presenza di differenti tipologie di vegetazione erbacea autoctona della duna mobile	Riduzione delle pressioni antropiche in un'adeguata zona di rispetto intorno al sistema dunale con particolare riguardo all'azione di compressione e compattamento della sabbia e di modificazione del profilo originario delle dune, che porterebbe alla distruzione dei siti di nidificazione possibili e alla riduzione delle comunità di invertebrati psammofili
	Abbassamento della falda	Presenza di vegetazione arbustiva e arborea retrodunale autoctona	Ricostituzione dei ginepri dunali degradati; azione che difficilmente può basarsi sull'utilizzo diretto delle specie principali di tale <i>habitat</i> (<i>Juniperus macrocarpa</i> e <i>J. Phoenicea</i>), poiché la coltura dei ginepri in vivaio è problematica e la specie ha un lento accrescimento in fase giovanile
	Ingressione in falda di acque marine	Buona strutturazione delle comunità ed estensione delle stesse	Utilizzo, da sperimentare, delle sclerofille (lentisco e filliree) che in tali <i>habitat</i> accompagnano naturalmente i ginepri; la ricostituzione della vegetazione dunale è basata sull'impiego di erbe psammofite di arbusti che attecchiscono per talea come tamerici, olivelli di Boemia (<i>Eleagnus angustifolia</i>)
	Riduzione della falda dolce sospesa	Caratteristiche morfologiche dei diversi cordoni dunali (altezza, continuità, distanza dal mare, ecc.)	Vigilanza e prevenzione antincendio
	Fenomeni di erosione della duna (idrogeologica ed eolica)	Presenza di comunità di rettili Cheloni (Emididi e Testudinati) e uccelli Corsciformi	Controllo dell'emungimento dalle falde profonde e sospese
	Localizzati fenomeni di compattazione nelle zone umide retrodunali, dovuti ad eccessivo calpestio	Presenza, tra i mammiferi, di istrice	Opere di Ingegneria Naturalistica per la ricostruzione delle dune degradate (barriere basali, schermi frangivento, ecc.)
	HABITAT	MINACCE	INDICATORI
Posidonieti	Azioni di "pulizia" e spianamento meccanico della spiaggia, con eliminazione delle comunità ad essa associate	Presenza di insetti specializzati, quali <i>Hymenoptera</i> , <i>Coleoptera</i> (<i>Tenebrionidae</i> , <i>Scarabaeidae</i> , <i>Carabaeidae</i> e <i>Cicindelidae</i>)	Creazione di opportuni passaggi sulle dune onde evitarne il calpestio (passerelle in legno, ecc.)
	Frequentazione eccessiva	Presenza di endemismi di elevato interesse	Evitare l'utilizzo di costruzioni per la difesa delle coste di tipo <i>hard</i> (barriere, scogliere, ecc.) in luogo di metodologie più <i>soft</i> (ripascimenti, barriere soffolte, tubi drenanti, ecc.)
	Aerosol marino carico di elementi inquinanti	Nidificazione di uccelli quali il fratino e, durante i passi o lo svernamento, la sosta di estese comunità di laro-limicoli, specialmente in presenza di sabbia pantani e stagni retrodunali	Drastica diminuzione della movimentazione della sabbia
	Attività di bonifica scorrette, che determinano la perdita del reticolo idrico superficiale e delle possibilità di impaludamento retrodunale invernale	Presenza di comunità ripariali di crostacei Anfipodi	Regolamentazione e rotazione del taglio boschivo retrodunale
	Cambiamento dell'uso del suolo, con perdita di connessione con le aree palustri e/o i canali interni o circostanti il sito	Ricchezza biologica di specie animali e vegetali	Installazione di boe fisse per l'ormeggio di natanti
	Fenomeni di disturbo del fondale marino	<i>Status</i> di conservazione di <i>Pinna nobilis</i>	Perimetrazione del posidonieto con appositi campi boe
	Inquinamento del mare	Continuità della copertura	Installazione di depuratori lungo costa (da valutare caso per caso)
	Azioni di disturbo, come ad esempio ancoraggi e pesca a strascico	Alterazione strutturale del complesso sistema di <i>habitat</i> presenti nel tratto di spiaggia immersa mobile e consolidata	In casi gravi di rarefazione del posidonieto possibilità di intervento attraverso opere di piantumazione di semi o giovani plantule di <i>P. oceanica</i> , supportate da opere stabilizzatrici di Ingegneria Naturalistica
	Eccesso di frequentazione per balneazione	Minacce alla sopravvivenza di <i>Pinna nobilis</i>	Posizionamento di barriere antistrascico
			Incremento del numero delle riserve marine
		Interdizione alla navigazione da diporto	

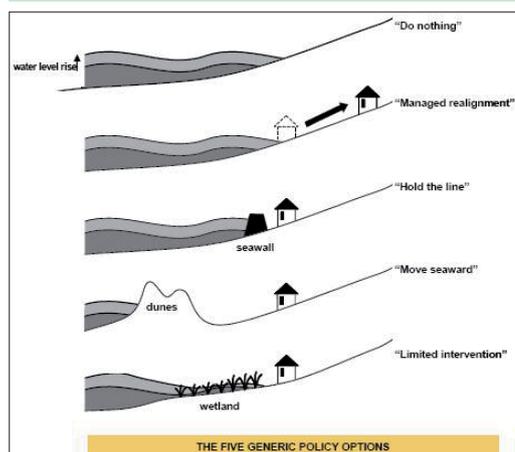


Figura 5 – Opzioni per la gestione costiera.

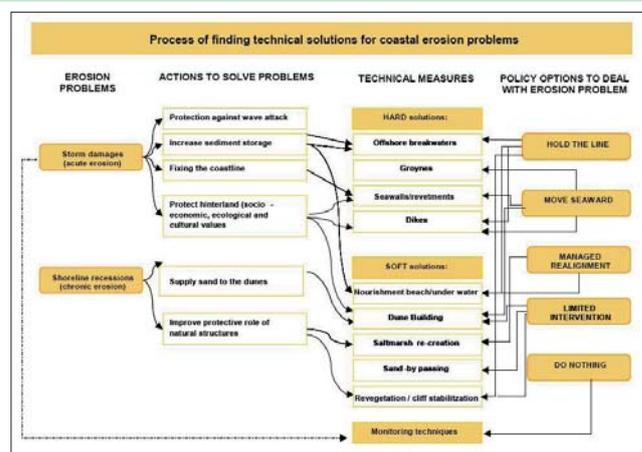


Figura 6 – Opzioni per la gestione costiera.

3. PIANTAGIONE ERBACEA SU DUNE

DESCRIZIONE GENERALE

La vegetazione favorisce la crescita dunale intrappolando e stabilizzando la sabbia trascinata dal vento. Il trapianto di Ammofila (*Ammophila arenaria*) al fronte di dune in erosione rafforzerà il naturale sviluppo delle dune al di sopra del limite di attacco diretto dell'onda. La gramigna delle sabbie (*Elymus farctus*) o l'orzo delle sabbie (*Leymus arenarius*) possono essere trapiantate per favorire la crescita di nuove dune avanzate lungo il bordo di dune esistenti, in quanto queste specie sono tolleranti a occasionali inondazioni di acqua di mare. Piantine di erbe da sementi possono essere utilizzate, ma di solito non hanno successo in ambienti di dune mobili.

Queste erbe naturali dunali operano per ridurre la velocità del vento su tutta la superficie, quindi catturano e stabilizzano la sabbia. Esse crescono sia verticalmente che orizzontalmente, non appena la sabbia si accumula. L'Ammofila è particolarmente efficace in quanto si sviluppa vantaggiosamente sulle dune in formazione, ed è forse la più facile da trapiantare.

i danni da erosione per mareggiate dovranno essere rapidamente riparati.

Il trapianto può essere utilizzato anche per migliorare l'aspetto e l'efficacia delle difese costruite contro l'erosione. Pietra, legno o strutture in gabbioni sono in grado di fornire una linea di difesa fissa, ma sono inadatti lungo una costa naturale di dune: il parziale mascheramento di queste strutture utilizzando sabbia riciclata, seguita da trapianto, creerà una duna dall'aspetto più naturale se le condizioni sono favorevoli.

Tuttavia il trapianto in località non adatte può essere uno spreco di risorse, come illustrato nella foto.

La nuova vegetazione che ricopre una perdita di fronte dunale innescherà il recupero senza danneggiare gli interessi ecologici e geomorfologici o le qualità estetiche del litorale. L'approccio è potenzialmente di auto-sostentamento se le piante diventano ben consolidate.

Il trapianto e la relativa schermatura delle dune può migliorare l'aspetto e l'accettabilità ambientale delle difese costiere tradizionali che altrimenti potrebbero svalutare il paesaggio dunale.

- I trapianti dovrebbe includere solo quelle specie che sono autoctone del sito per mantenere il naturale ecosistema.
- I sistemi di trapianto devono essere continuamente seguiti per ottenere una vigorosa crescita e per riparare danni naturali o umani.
- Riprofilature, ricoperture o recinzioni sono normalmente associati all'impianto per migliorare il recupero della duna e per limitare l'accesso del pubblico o danni al materiale vegetale.
- Il trapianto deve essere effettuato in primavera al fine di massimizzare il potenziale di crescita e ridurre al minimo il rischio di erosione da mareggiata.

4. RIVESTIMENTO DI DUNE

DESCRIZIONE GENERALE

Ricoprire le superfici esposte di dune o le buche utilizzando scarti da tagli di gestione forestale o residui da foglie di *Posidonia* spiaggiate, o altri materiali a basso costo (biostuoie, *mulch*, ecc.), è un modo tradizionale di stabilizzare la sabbia, riducendo il calpestio e proteggendo la vegetazione. I materiali sono a

Luoghi appropriati:	Al di sopra del normale limite di frangimento dell'onda in qualsiasi posizione con disponibilità di sabbia trasportata dal vento. Improbabile la riuscita dove l'erosione è grave.
Costi:	Bassi, ma con alta intensità di lavoro in corso di gestione (€ 250 - € 2.500/100m lunghezza per ogni visita).
Efficacia:	Valorizzazione nel recupero delle dune. Il serbatoio di sabbia trattenuto dalle piante fornirà una amplificazione alla resistenza all'erosione da mareggiate.
Vantaggi:	Adatto ai sistemi naturali. Può essere utilizzato per migliorare le altre opzioni di gestione. Tendenzialmente si autosostiene.
Problemi:	Normalmente richiede una schermatura o copertura delle dune per raggiungere il successo. Può essere completamente perso per erosione da mareggiata.

FUNZIONE

Il trapianto di vegetazione non previene l'erosione, ma accelererà naturalmente il recupero dopo i danni per mareggiate, creando un serbatoio di sabbia all'interno delle dune più avanzate, che renderanno le dune maggiormente in grado di sopportare il prossimo periodo di erosione. Lavori aggiuntivi sono spesso necessari per aumentare il potenziale di successo. Il ricoprimento (Metodo 3), la schermatura (Metodo 4) e la spiaggia di riciclaggio (Metodo 5) contribuiranno all'accumulo di sabbia, forniranno maggiore protezione dalle onde e ridurranno i danni da calpestio.

Una volta che le graminacee si stabilizzeranno, potranno autosostentarsi, anche se

LE MIGLIORI PRATICHE E OPPORTUNITÀ AMBIENTALI

La nuova vegetazione che ricopre una perdita di fronte dunale innescherà il recupero senza danneggiare gli interessi ecologici e geomorfologici o le qualità estetiche del litorale.

L'approccio è potenzialmente di auto-sostentamento se le piante diventano ben consolidate.

Il trapianto e la relativa schermatura delle dune può migliorare l'aspetto e l'accettabilità ambientale delle difese costiere tradizionali che altrimenti potrebbero svalutare il paesaggio dunale.

In aggiunta a questi orientamenti generali ci sono le seguenti specifiche di piantagione erbacea delle dune:

basso costo se disponibili a livello locale e non richiedono macchinari o manodopera qualificata per raggiungere il successo, ma la continua manutenzione è importante. L'approccio è normalmente effettuato con specie erbacee dunali di impianto per favorire la stabilità delle dune. I materiali di riempimento sono spesso rimossi per falò dagli utenti della spiaggia.

FUNZIONE

Una buona copertura con materiale vegetale morto incoraggerà il recupero della duna e resisterà a un certo grado di erosione, ma non può impedire l'erosione dove l'attacco delle onde è frequente e dannoso. La copertura riduce sulla superficie la velocità del vento, favorendo la deposizione della sabbia

Luoghi appropriati:	Al di sopra del normale limite di frangimento dell'onda in qualsiasi posizione con disponibilità di sabbia trasportata dal vento. Improbabile la riuscita dove l'erosione è grave.
Costi:	Bassi, ma ad alta intensità di manodopera e richiede una costante manutenzione. (€ 250 - € 2.500/100 m in lunghezza per ogni visita più costo di trapianto e di manutenzione annuale).
Efficacia:	Valorizzazione nel recupero naturale delle dune. Modesta resistenza all'erosione da mareggiate, incrementata dalla vegetazione da trapianto.
Vantaggi:	Minimo impatto per i sistemi naturali. Tutti i materiali sono naturali, degradabili e a basso costo.
Problemi:	Senza manutenzione la ricopertura durerà non più di 1 anno. I materiali sono spesso utilizzati per costruire falò.

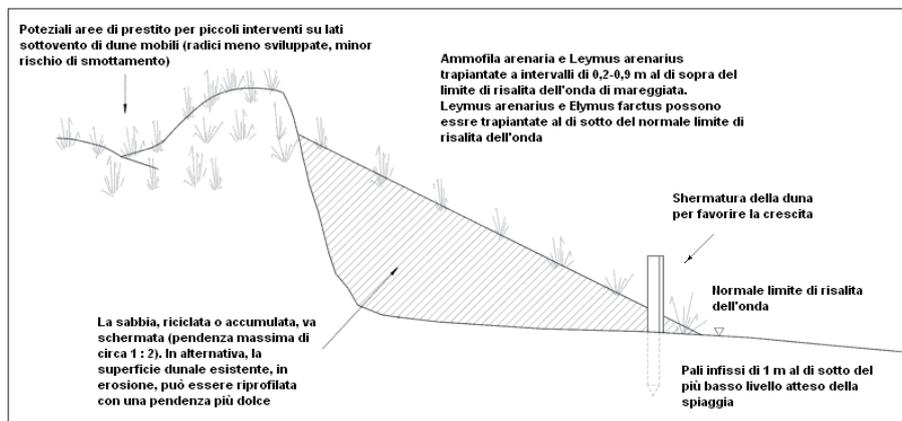


Figura 7 – Trapianto specie erbacee (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 8 – Piantumazione specie colonizzatrice (da Scottish Natural Heritage, 2004).

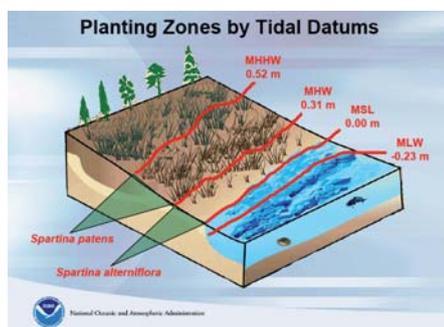


Figura 9 – Trapianto specie erbacee secondo i livelli di marea (da NOAA, 2006).

sospesa. Il successo dipende dalla quantità di sabbia sospesa, dalla frequenza delle onde di attacco e dalla disponibilità di vegetazione. Il trapianto di specie erbacee dunali (vedi voce relativa) dopo la ricopertura rafforzerà il recupero della duna e la stabilità a lungo termine. È richiesta una continua manutenzione e il risarcimento delle fallanze.

LE MIGLIORI PRATICHE E OPPORTUNITÀ AMBIENTALI

L'accesso del pubblico attraverso le dune e il calpestio della vegetazione possono essere controllati a basso costo con la ricopertura. Gli scarti da interventi forestali, i disbosca-

La ricopertura è a basso costo e i materiali sono degradabili in modo che un eventuale fallimento non mette a repentaglio a lungo termine gli interessi ambientali.

In aggiunta a questi orientamenti generali ci sono i seguenti suggerimenti di specifica importanza per la ricopertura delle dune:

- La ricopertura deve essere regolarmente mantenuta per ottimizzare l'efficacia e per ridurre al minimo l'impatto sull'uso pubblico e il comfort visivo.
- I materiali devono essere degradabili e non dovrebbero introdurre semi alloctoni, talle vive o inquinanti che possono danneggiare l'ecologia della duna. L'olivello spinoso è una particolare specie invasiva e deve essere evitata come materiale di ricopertura se ci sono particolari preoccupazioni per il mantenimento della distribuzione delle specie locali dunali.

5. SCHERMATURA DI DUNE

DESCRIZIONE GENERALE

La costruzione di recinzioni semi-permeabili lungo il fronte mare delle dune incoraggerà la deposizione di sabbia portata dal vento, ridurrà il calpestio e proteggerà la vegetazione esistente o trapiantata. Svariati materiali per schermature possono essere usati con successo per migliorare il recupero naturale. La schermatura può essere utilizzata anche in combinazione con altri sistemi di gestione per favorire la stabilizzazione della duna e ridurre gli impatti ambientali.

FUNZIONE

Le recinzioni su sabbia non possono impedire l'erosione delle onde quando l'attacco è frequente e dannoso, ma incoraggiare la crescita dell'avanduna e resistere ad alcune

menti lungo le scarpate stradali e le piante da vivaio inutilizzabili possono essere usati vantaggiosamente. La rivegetazione delle dune associata contribuirà a stabilizzare le avandune ed estenderà l'habitat della duna.



Figura 10 – Piantumazione di Ammofila arenaria (da F. Boccalaro, 2010).

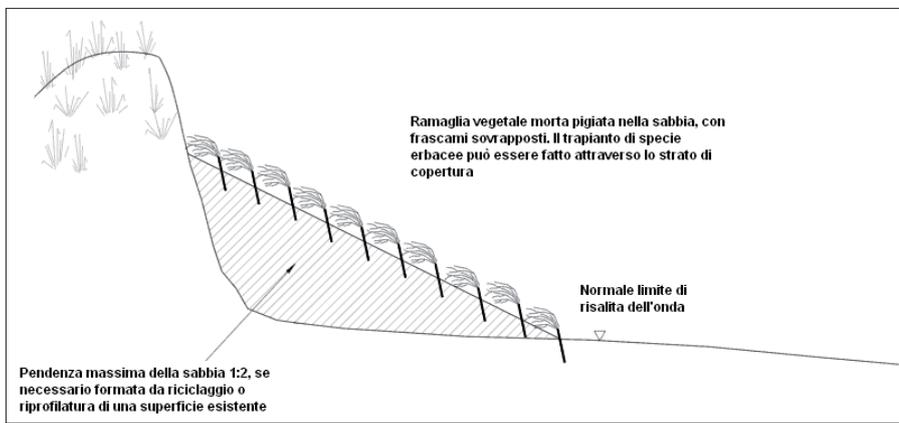


Figura 11 – Copertura dune con specie autoctone (da Scottish Natural Heritage, 2004).

Figura 12 – Ricopertura grezza lungo un orlatura di "machair" in erosione, utilizzando locali tagli forestali (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 13 – Ricopertura grezza lungo un orlatura di "machair" in erosione, utilizzando locali tagli forestali (da DEFRA, 1999).

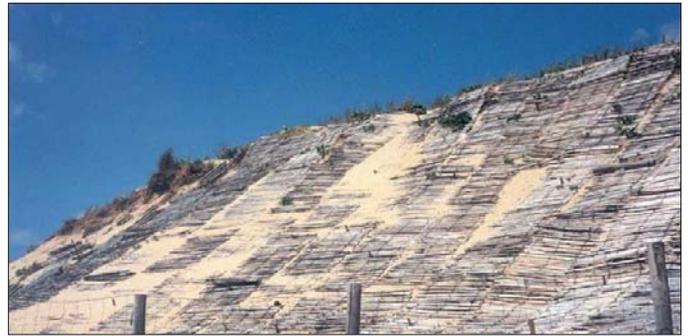


Figura 14 – Ricopertura con tavole di legname su dune a Cap Ferret (F) (da DEFRA, 1999).



Figura 15 – Ricopertura con banquette di *Posidonia* alla foce del Coghinas (da F. Boccalaro, 2005).

Figura 16 – Rivestimenti con biostuoie in cocco (da F. Boccalaro, 2010).



erosioni. Le recinzioni riducono la velocità del vento su tutta la superficie di sabbia ed incoraggiano la deposizione sull'avanduna. Esse fungono anche da modesta barriera all'attacco dell'onda, riducendo il potenziale di erosione delle onde vicino al limite di risalita. Il successo dipende dal rapporto vuoto/pieno della recinzione, dalla disponibilità di sabbia portata dal vento, dalla frequenza di attacco delle onde alla recinzione e dalla quantità

di vegetazione a disposizione per stabilizzare la sabbia accumulata. Il successo sarà completato da un programma di trapianto di specie erbacee dunali, di ricopertura e di riciclaggio/declassamento della spiaggia (vedi voci relative) per formare nuove avandune. La schermatura e le relative opere possono essere utilizzate per migliorare l'aspetto e l'efficacia di altre difese costiere. Il pietrame, il legname o le strutture in gabbioni sono in grado di fornire

una linea di difesa, ma sono inadatte lungo una duna naturale costiera: la parziale sepoltura da sabbia o materiali riciclati protetti da recinzioni o la vegetazione erbacea creerà un più naturale ambiente dunare.

MIGLIORI PRATICHE AMBIENTALI E OPPORTUNITÀ

Le schermature lungo la sommità delle dune consentono di controllare l'accesso del pubblico e riducono il calpestio della vegetazione lungo il bordo delle dune esposto al

Luoghi appropriati:	Al di sopra del limite normale di risalita dell'onda, in qualsiasi posizione con disponibilità di accumuli di sabbia. Improbabile la riuscita dove l'erosione è grave.
Costi:	Bassi, ma si richiede manutenzione continua (€ 500 - € 2.500/100m di lunghezza al fronte, più i costi di trapianto e di riparazione in corso d'opera).
Efficacia:	Intervento accessorio al recupero delle dune naturali. Limitata resistenza all'erosione da mareggiata. Tecnica rafforzata dal trapianto di vegetazione.
Vantaggi:	Un impatto minimo sul sistema naturale. Può essere utilizzato per controllare l'accesso del pubblico e per migliorare altri sistemi.
Problemi:	Le recinzioni danneggiate e i detriti accumulati possono essere sgradevoli. Le recinzioni hanno bisogno di una manutenzione regolare e hanno una durata massima di circa 5 anni a seconda del materiale, della frequenza delle mareggiate e dei vandalismi.

mare. La schermatura e l'associato trapianto di vegetazione possono contribuire a stabilizzare l'avanduna ed estenderanno l'habitat della duna. Esse possono anche migliorare l'aspetto di altre forme di opere di difesa che altrimenti potrebbero svalutare il paesaggio costiero.

In aggiunta a questi orientamenti generali ci sono i seguenti suggerimenti di specifica importanza per la schermatura delle dune:

- Schermature sintetiche in colori brillanti dovrebbero essere evitate per ridurre al minimo l'impatto visivo sul paesaggio.

- Materiali sintetici non degradabili dovrebbero essere evitati in aree che potrebbero essere pesantemente colpite dalle mareggiate, in quanto qualsiasi materiale portato via dalle onde può diventare un pericolo per i bagnanti, la navigazione e la vita marina.

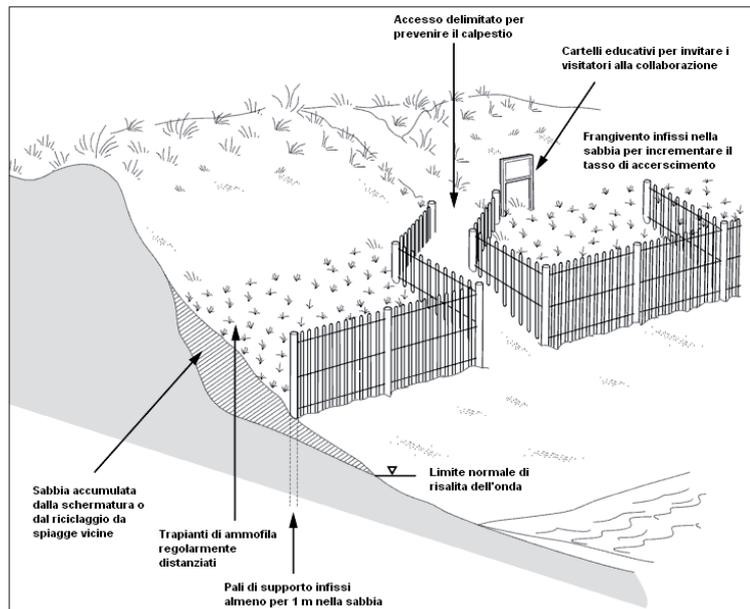


Figura 17 – Accorgimenti protettivi di rivegetazioni su dune (da Scottish Natural Heritage, 2004).

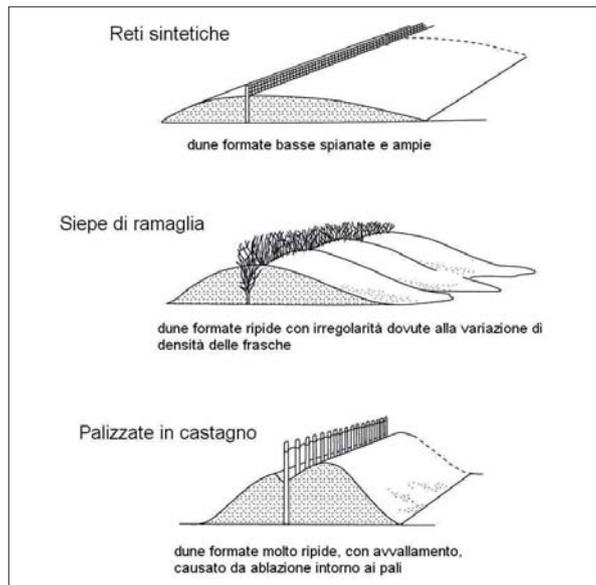


Figura 18 – Differenti materiali schermanti per intrappolare la sabbia portata dal vento e loro influenza sulla forma dunale (da Brooks & Agate, 2005).

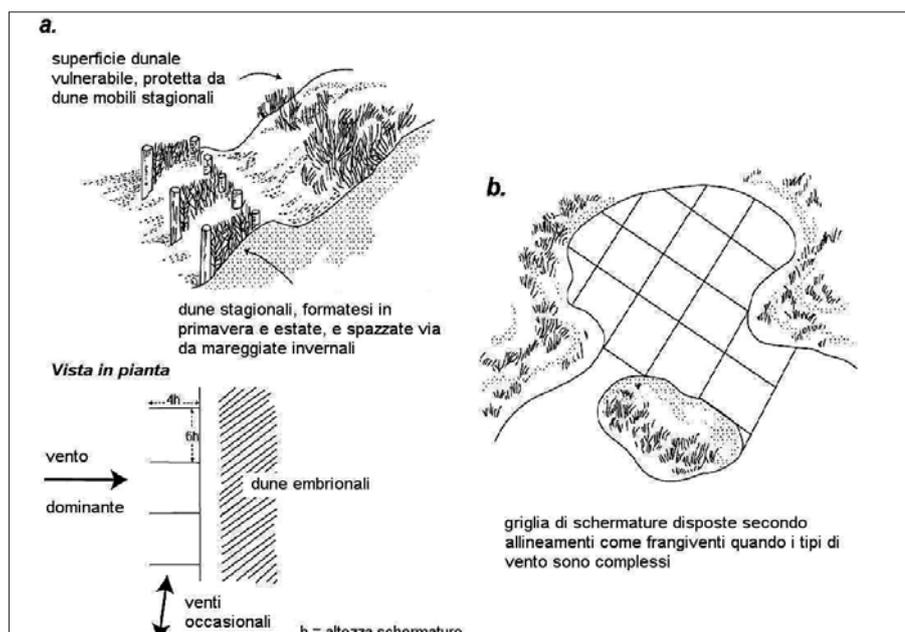


Figura 18. – Differenti materiali schermanti per intrappolare la sabbia portata dal vento e loro influenza sulla forma dunale (da Brooks & Agate, 2005).

- Una regolare manutenzione deve essere effettuata per riparare le recinzioni e rimuovere i rifiuti o anche sgradevoli detriti che possono accumularsi lungo la recinzione.
- Il rapporto vuoto/pieno per ogni materiale da recinzione dovrebbe essere compreso tra 30% e 50% per ottenere un'efficace accumulo di sabbia.
- Il trapianto di vegetazione favorirà lo sviluppo della duna e migliorerà l'ambiente del litorale. La schermatura senza trapianto avrà un impatto solo a breve termine in quanto qualsiasi accumulo di sabbia rimarrà instabile.

6. SPIAGGIA DI RICICLO E DI RIPROFILATURA

DESCRIZIONE GENERALE

Il riciclo è il trasferimento meccanico di sabbia, ghiaia o addirittura massi da una zo-

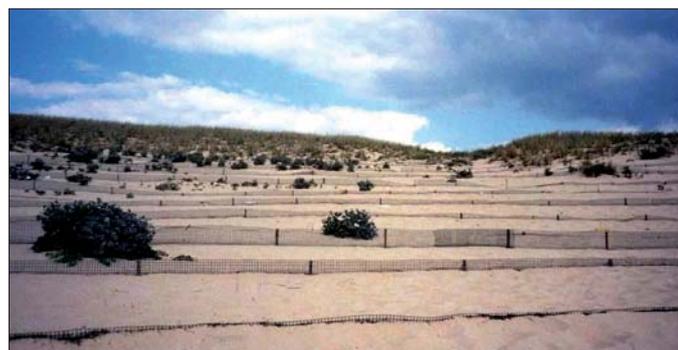


Figura 20 – Protezione di dune sulla costa dell'Aquitania (F) (da DEFRA, 1999).



Figura 21 – Protezione di dune sulla costa a Lagos in Algarve (ES) (da DEFRA, 1999).



Figura 22 – Protezione di dune sulla costa a Texel (NL) (da DEFRA, 1999).



Figura 23 – Accorgimenti protettivi di rivegetazioni su dune (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 24 – Protezione di dune a Cala Mesquida a Maiorca (da F. Boccalaro, 2010).



Figura 25 – Schermature e scale di accesso in legname in Olanda.

na di accrescimento ad una zona di erosione. Normalmente, il riciclaggio dovrebbe essere intrapreso a livello locale, con sedimenti prelevati da un crinale contiguo, dalla spiaggia più bassa o da una barra da estuario, e trasportati, a breve distanza, su una superficie dunale in erosione o su uno smottamento. In alternativa, la zona donatrice può essere l'entroterra se la sabbia si è dispersa su strade o in altre aree dove non è gradita e da dove può essere recuperata.

La riprofilatura è una tecnica alternativa, e di solito si riferisce al trasferimento diretto di materiale dalla spiaggia più bassa a quella più alta o, occasionalmente, al trasferimento di sabbia dalla base della duna alla sommità.

Se grandi strutture, come i moli frangiflutti portuali o i pennelli alle foci fluviali, attraversano la spiaggia, allora possono ac-

cumularsi dei sedimenti sul lato sopraflutto. Questo materiale può essere restituito alla spiaggia in direzione sopraflutto, o può essere meccanicamente aggirato intorno alla struttura per alimentare la spiaggia sottoflutto.

Il riciclaggio di sabbia o di ghiaia può essere intrapreso per risolvere piccoli problemi di erosione, come smottamenti, oppure può essere utilizzato per ricostruire lunghi tratti di spiaggia emersa. L'utilizzo di massi di solito è limitato a piccole quantità da utilizzarsi lungo il fronte della spiaggia per fornire una temporanea armatura lungo un piccolo tratto di duna soggetto a modesta erosione.

Se il materiale è prelevato da un luogo che non appartiene al sito in erosione l'intervento è chiamato come ripascimento di spiaggia o ricarica (vedi voce relativa).

FUNZIONE

Il riciclaggio fornisce una barriera artificiale tra la superficie delle dune e le forze di erosione del mare. Dove l'erosione è in atto questa barriera fornisce una difesa di breve termine alle dune, probabilmente durevole solo per un'unica mareggiata. Se la spiaggia è stabile o in avanzamento, il riciclaggio

accelera lo sviluppo di nuove avandune. Il successo di questo approccio sarà rafforzato se combinato con il trapianto di vegetazione e la ricopertura della duna o la schermatura (vedi voci relative).

Il riciclaggio può essere utilizzato anche per migliorare il paesaggio costiero, occultando le opere di difesa artificiali (sacchi di sabbia, pietrame, legname o gabbioni), con l'intesa che tali difese possono riemergere nuovamente e riattivarsi durante le mareggiate.

Questa azione riuscirà soltanto se le difese sono posizionate sul retrospiaggia (strutture sull'avanspiaggia non rimarranno sepolte poiché le onde rimuoveranno rapidamente il materiale riciclato).

MIGLIORI PRATICHE AMBIENTALI E OPPORTUNITÀ

Il riciclaggio consente di migliorare il naturale recupero delle dune in erosione e di fornire una più ampia attività ricreativa per la spiaggia. L'aspetto iniziale artificiale della spiaggia superiore e della superficie della duna sarà rapidamente trasformato dal vento, dalle onde e dalla vegetazione in una forma più naturale. Il riciclaggio può essere combinato con la schermatura, la ricopertura e il trapianto per favorire lo sviluppo di nuove dune mobili ed estensioni di habitat dunali. Opere di difesa in elevazione costruite sulla superficie della spiaggia possono essere sepolte da materiale riciclato, seguito da trapianti vegetazionali e da schermature, per creare un litorale molto più naturale.

In aggiunta a questi orientamenti generali ce ne sono, qui di seguito, altre di specifica importanza per il riciclo della spiaggia.

- Sistemi di riciclaggio su larga scala devono essere concepiti da un consulente

Luoghi appropriati:	Tutte le località, comprese quelle con sabbia eolica limitata per il recupero naturale.
Costi:	Da bassi a moderati, ma si richiede una manutenzione costante (€ 1.250 - € 25.000 / 100m di lunghezza, più schermatura, trapianto, ecc., con analoghi costi ripetuti).
Efficacia:	Difesa contro l'erosione a breve termine, e valorizzazione del recupero del paesaggio naturale. Moderata resistenza a particolari mareggiate. È rafforzata da schermature e trapianto di vegetazione, e può essere utilizzata con successo per occultare opere di difesa "pesanti".
Vantaggi:	Accelera il recupero naturale dell'avanduna e fornisce una difesa a breve termine contro forti mareggiate.
Problemi:	Rimuove materiale da altri siti, eventualmente trasferendo l'erosione o il danno ambientale su un altro fronte. Può introdurre detriti spiaggiati, sedimenti e/o organismi vegetali non autoctoni, potenzialmente dannosi all'ecologia locale.

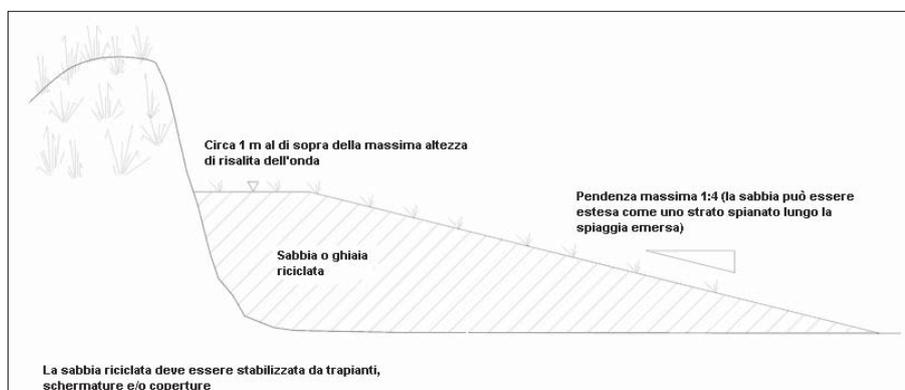


Figura 26 – Ripascimento di dune con riporti di sabbia (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 27 – Riprofilatura di dune con riporti di sabbia (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 28 – Riprofilatura di dune con piantumazione a Thy (DK) (da DEFRA, 1999).



Figura 29 – Riprofilatura di dune con riporti di sabbia (da Scottish Natural Heritage, 2004).

competente di ingegneria costiera dopo studi preliminari sulla dinamica del litorale.

- Attenta considerazione deve essere prestata all'impegno di gestione a lungo termine necessario per creare e mantenere un livello adeguato di protezione dall'erosione. Futuri finanziamenti per monitoraggio e per regolari ripristini dovrebbero essere concordati prima di prendere in considerazione questa opzione.
- Sia il sito donatore che quello ricevente devono essere controllati prima e dopo il

riciclo al fine di determinare l'impatto e il successo di questa operazione. Le indagini sui profili della costa dovrebbero essere ripetuti almeno due volte l'anno lungo dei transetti prefissati.

- L'estrazione di sabbia o ghiaia dalla spiaggia superiore non dovrebbe essere consentito ad evitare danni alla vegetazione dunale esistente nella zona di origine.
- I depositi possono soffocare le comunità bentoniche intertidali e le praterie di Posidonia, distruggendo l'ecologia locale. Come ovvia conseguenza si avrà la temporanea perdita di luoghi di alimentazione per trampolieri e pesci. Attenta considerazione deve essere data a questo potenziale impatto.
- I limi introdotti con il materiale di ripascimento saranno gradualmente dilavati verso il largo, potendo causare un danno a breve termine alla fauna ittica ed alle comunità bentoniche. Ancora una volta, un attento esame deve essere prestato a questo impatto e in particolare ai tempi di lavorazione in relazione ai ritmi biologici.

per evitare danni da abrasioni. Il ritombamento dovrebbe essere accompagnato da schermature e trapianti vegetazionali per favorire lo sviluppo di nuove dune stabili.

7. STABILIZZAZIONI DI DUNE IN LEGNAME

DESCRIZIONE GENERALE

I rivestimenti in legname possono variare dalla struttura definitiva impermeabile, al riparo temporaneo permeabile, posti sulla spiaggia emersa come barriera per le onde. Il primo tipo è una linea finale di protezione dall'erosione delle dune, mentre il secondo tipo serve a dissipare l'energia del moto ondoso prima che raggiunga di fronte della duna.

FUNZIONE

I rivestimenti di legname sono stati ampiamente utilizzati in Italia per la protezione della costa dove i costi o gli impatti di un muro a mare sarebbero stati inaccettabili. La flessibilità della costruzione consente ai rivestimenti in legname di servire per vari scopi. Essi possono fornire, una volta costruiti, una parziale barriera all'energia del

Luoghi appropriati:	Siti ad alto valore paesaggistico con modesti problemi e periodiche erosioni.
Costi:	Moderati (da € 2.500 a € 62.500/100m di lunghezza del fronte).
Efficacia:	Forniscono una buona protezione, se sono esposti solo occasionalmente alle onde. 5-30 anni di vita utile.
Vantaggi:	Normalmente accettabili per il pubblico. Meno costosi dei muri a mare o dei rivestimenti in roccia
Problemi:	Vita limitata, in particolare quando esposti all'azione delle onde. Visivamente invadenti. Alterano i processi spiaggia-duna dato che l'interscambio di sabbia è perturbato.

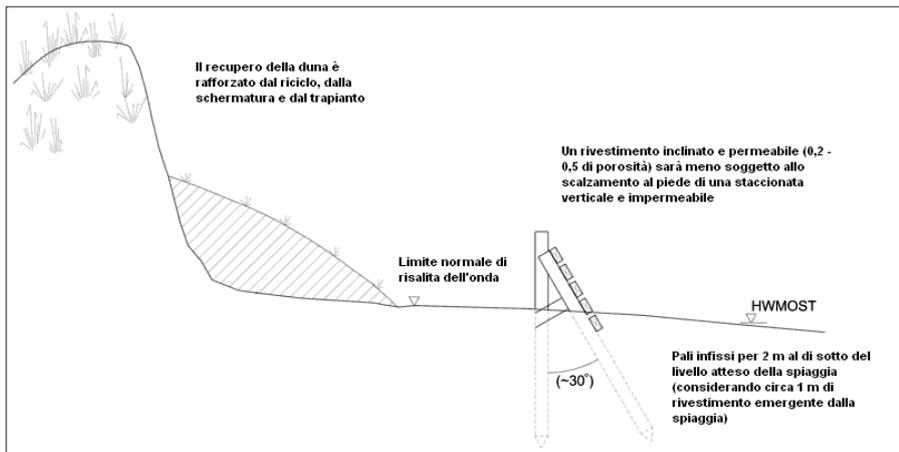


Figura 30 – Staccionate paraonde (da Scottish Natural Heritage, 2004).

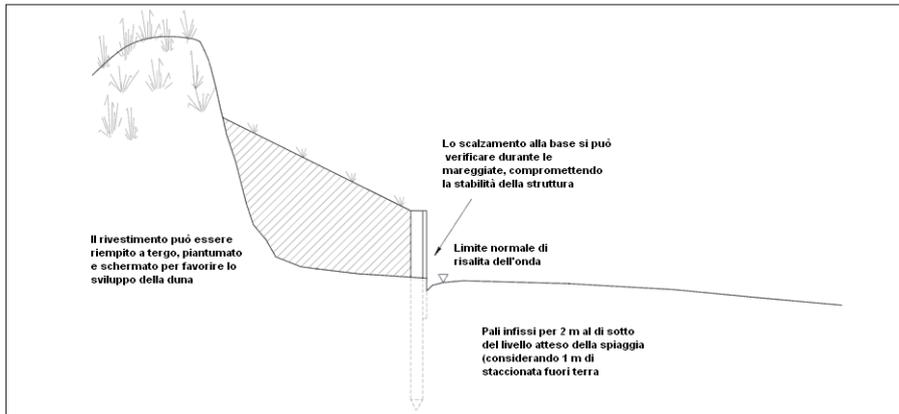


Figura 31 – Palizzate per dune in legno (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 32 – Palizzate per dune in legno (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 33 – Staccionate paraonde (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 34 – Paratie in pali (da Scottish Natural Heritage, 2004).



Figura 35 – Staccionate paraonde (da Defra - Department for Environment, Food and Rural Affairs, 1999).



Figura 36 – Fascinate e palizzate a Vallevicchia, in provincia di Venezia.



Figura 37 – Viminata viva basale (da Manuale Regione Lazio 2, 2004).

moto ondoso, come uno "schermo" permeabile lungo la spiaggia emersa. In alternativa essi possono formare una barriera protettiva finale per le ondate in modo simile a una opera di difesa impermeabile verticale lungo il fronte della duna.

Strutture temporanee possono essere costruite relativamente a buon mercato con legnami teneri trattati in autoclave, ma strutture più solide sono di solito costruite in legname duro importato. Le preoccupazioni sulla sostenibilità degli approvvigionamenti di essenze tropicali hanno aumentato notevolmente i costi del materiale, il che rende improbabile che le difese in legname siano utilizzate in futuro su larga scala. Il legname adesso potrebbe essere valido solo per piccoli interventi in aree a relativamente basso idrodinamismo. In una spiaggia aperta, esposta a forti mareggiate, le strutture di legno duro saranno abrase, dando una aspettativa di vita di soli 15-20 anni. All'interno di estuari o su spiagge a basso idrodinamismo il legno può durare 25-30 anni prima di degradarsi e gli invertebrati che attaccano il legno possono arrecare un danno significativo. Le strutture in legname tenero possono avere una durata di soli 5-10 anni.

MIGLIORI PRATICHE E OPPORTUNITÀ AMBIENTALI

Le strutture in legname offrono una grande flessibilità nella progettazione. Esse possono essere utilizzate in sistemi di gestione turistica e spesso sono prontamente accettate dal pubblico. Le strutture in legname sono facilmente riparabili o estensibili rispetto a strutture di calcestruzzo.

In aggiunta a questi orientamenti generali, sono di particolare importanza per i rivestimenti in legname le seguenti indicazioni.

- La progettazione deve prevedere l'evoluzione dell'erosione del litorale, che può portare al dissesto, allo scavalco o all'aggiramento, provocando il deterioramento strutturale.
- Ove possibile, il riciclaggio, la schermatura e il trapianto vegetazionale devono essere impiegati per stabilire una nuova linea di avandune di fronte e al di sopra del rivestimento. Queste dune ridurranno l'impatto visivo, offrendo una ulteriore protezione dall'erosione e ristabilendo una successione naturale di habitat dunali dalla battigia al retroduna.
- Il legname duro dovrebbe essere raccolto da foreste gestite in modo sostenibile.
- I danni devono essere riparati rapidamente per mantenere l'efficacia dell'intervento.

Utilizzo di contenitori in materiali geosintetici riempiti di sabbia per la protezione di strutture archeologiche sommerse

PIER LUIGI AMINTI
Università di Firenze
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

LUCA CAPPUCCINI
Università di Firenze
Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Medioevo,
Rinascimento e Linguistica

1. INTRODUZIONE

La fascia costiera subisce nel corso dei secoli numerose variazioni, alcune di queste estremamente rapide. Le mutazioni della linea di riva nel tempo tendono a sovrapporsi, mantenendo genericamente comunque il proprio trend, sia esso di avanzamento o di arretramento. Per questi motivi, molti porti e abitati di periodo etrusco, romano e medievale si trovano oggi a distanza di diversi chilometri dal mare mentre altri risultano praticamente scomparsi. Tra gli esempi più noti di approdi che si configurano oramai come bacini interni si possono citare il porto di Traiano ed il porto di Claudio dietro l'area aeroportuale di Fiumicino, il porto di Ostia o, in ultimo, il porto delle navi di Pisa che dista oggi 5-6 km dalla linea di costa (Bruni, 2000; per la situazione dei porti toscani, Camilli, Gambogi, 2005).

Per molti secoli uno dei principali problemi delle strutture portuali è stato l'insabbiamento, che ha spesso portato l'abbandono del sito e, data l'impossibilità di eseguire continui dragaggi, lo spostamento del punto di approdo: esempio in tal senso è la migrazione, già nella prima Età del Ferro, dello scalo di Fonteblanda presso Talamone, soluzione proseguita fino al periodo ellenistico, momento nel quale il sito viene definitivamente abbandonato (Ciampoltrini, 2001; Ciampoltrini, 2003).

Negli ultimi 150 anni abbiamo assistito ad un fenomeno opposto, ossia l'arretramento della linea di riva con tassi di spostamento che hanno raggiunto 20 m/anno in aree naturali non protette (es.: Parco di San Rossore alla foce dell'Arno) e 5-10 m/anno alla foce dell'Ombrone grossetano e alla foce del Tevere (prima della costruzione di opere di difesa) (Aminti, Pranzini, 1990). Tale tendenza, determinata dall'uso del suolo nei bacini montani con continue azioni per la stabilizzazione dei versanti e con azioni sui corsi d'acqua che riducono il trasporto dei sedimenti, non si prevede possa essere modificata a medio termine.

Questo trend porta a ritenere che, nell'arco di pochi anni, molte opere portuali antiche attualmente protette dai sedimenti che si sono via via accumulati nel corso del tempo, verranno a trovarsi in prossimità delle linee di

riva con un conseguente attacco da parte del moto ondoso. Già rientrano in questa casistica siti emblematici come il Porto Clementino a Tarquinia e il Porto di Nerone ad Anzio. In altre situazioni, l'erosione della costa ha già determinato la distruzione e la scomparsa delle strutture archeologiche di straordinaria importanza, quali dovevano essere quelle di *Portus Scabris* a Scarlino o di Baratti a Populonia (Schmiedt, 1975; Franco, 1998).

È in questo quadro che l'applicazione di nuove tecniche ingegneristiche può operare una possibile salvaguardia delle emergenze archeologiche marine e subacquee. La difesa e la conservazione delle antiche strutture rappresentano infatti campi dove archeologia e ingegneria possono incontrarsi con lo scopo di sperimentare nuove tecniche efficienti, economiche e durature.

La protezione di strutture antiche o di reperti non facilmente rimovibili si rende necessaria quando, a seguito di un processo erosivo, tali emergenze archeologiche vengono a trovarsi esposte all'azione diretta del moto ondoso. Se, in un primo momento – quando le strutture non sono ancora completamente esposte – il danneggiamento avviene in modo episodico, poco frequentemente e solo in occasione di eventi eccezionali, con il progredire dei processi erosivi l'azione diretta delle onde sulle opere diventa sempre più frequente ed intensa.

La perdita della protezione naturale offerta dai sedimenti coinvolge anche le emergenze archeologiche subacquee. Se da un lato il processo erosivo di una costa viene evidenziato dall'arretramento della linea di riva, esso è comunque sempre associato un approfondimento dei fondali: ciò pone dunque problemi



Figura 1 – Porto etrusco di Cosa.

di conservazione anche per tutti quei relitti sommersi che se si sono conservati proprio grazie al loro interrimento. Quando questi vengono a trovarsi senza copertura, anche se a profondità tale da non poter essere investiti direttamente dalle onde, possono essere totalmente distrutti dalle correnti provocate dal moto ondoso o dal moto oscillante della colonna d'acqua indotto dal passaggio delle onde.

In passato, la conservazione delle strutture murarie antiche è stata attuata con gli usuali criteri adottati per la protezione delle opere costiere, ricorrendo a scogliere di protezione che impedissero l'azione diretta del moto ondoso oppure tramite protezioni e rinforzi, generalmente in calcestruzzo, che hanno in molti casi impedito successive analisi, restauri e tentativi di valorizzazione del bene.

A titolo di esempio si può citare il caso dell'antico porto di Cosa (Fig. 1), dove molte strutture murarie sono state conservate dalla distruzione grazie all'immersione in un getto di calcestruzzo; esso ne ha conservato la forma, nascondendo quasi completamente le superfici originali. In altri casi già citati in precedenza, come il porto neroniano di Anzio o il porto Clementino di Tarquinia (Figg. 2 e 3), la rinuncia ad un'azione estremamente invasiva ha definitivamente condannato le strutture antiche ad un lento quanto inevitabile processo distruttivo.

2. CRITERI DI INTERVENTO

Quando le strutture antiche si trovano ormai esposte all'azione erosiva del moto ondoso, possono essere messe in opera vari tipi di difese:

DIFESE TRADIZIONALI

Si tratta di opere analoghe a quelle correntemente utilizzate per la protezione degli abitati, come scogliere in mare parallele a riva. Tali scogliere devono essere realizzate con massi di grandi dimensioni, trasportati con autocarri con la conseguente necessità di costruzione di piste di accesso. Le operazioni di trasporto e di posa, anche se attuate con particolari attenzioni, possono compromettere comunque l'integrità delle strutture da proteggere e possono danneggiare eventuali strutture o reperti nelle zone interessate dai



Figura 2 – Porto neroniano di Anzio.



Figura 3 – Porto Clementino a Tarquinia.

mezzi di trasporto. Meno invasivo è certamente il trasporto dei massi realizzato utilizzando mezzi marittimi, tuttavia non sempre le profondità sono sufficienti ad operare con tali mezzi. In ogni caso le scogliere non sono facilmente rimovibili e la zona occupata da queste non risulta praticamente indagabile ulteriormente (Fig. 4).

DIFESE PREVENTIVE

Attualmente, le aree costiere soggette ad erosione sono note, ed è in generale prevedibile il tasso di arretramento medio annuo della linea di costa. Assai più incerta è la stima del tasso di approfondimento dei fondali, nonostante sia chiaro che l'arretramento della linea di riva è sempre correlato con l'abbassamento dei fondali.

Un possibile criterio di previsione può essere basato sulla invarianza nel tempo del profilo della spiaggia; in questo modo, stimato l'arretramento, si ottiene conseguentemente l'incidenza sull'approfondimento dei fondali. Questi dati permettono di effettuare previsioni dirette sul rischio di distruzione di quelle strutture, antiche e non, che si trovano in prossimità della linea di riva o sul fondale antistante.

Quando strutture antiche vengono a trovarsi in una fascia costiera soggetta ad erosione si può ragionevolmente prevedere quando verranno a trovarsi esposte al moto ondoso e si può preventivamente intervenire con opere di protezione a terra quali paratie o argini protetti operando in sicurezza e con la possibilità di indagare nelle zone vicine prima di effettuare scavi o infissioni.

Tra le possibili difese preventive che possono essere messe in opera traendo ispirazione dalle protezioni attualmente utilizzate per dune e ambienti costieri, i geosintetici possono rappresentare una soluzione senza dubbio versatile e applicabile in varie casistiche.

3. I GEOSINTETICI NELLA PROTEZIONE DELLE STRUTTURE SOMMERSE E AFFIORANTI

La forte diffusione di geosintetici come elementi filtro nelle costruzioni marittime e in opere di fondazione in presenza di acqua, ha evidenziato la loro stabilità chimica e la loro resistenza alla maggior parte delle aggressioni nell'ambiente marino (PILARCZYK, 2000), ma solo recentemente si cominciano ad raccogliere informazioni sulla durabilità di opere marittime costruite con contenitori in geosintetico riempiti di sabbia esposte direttamente al moto ondoso. Solo negli ultimi anni sono state costruite importanti opere di difesa della costa sia pennelli (LUGER *et al.*, 2006) sia barriere sommerse costruite in sacchi riempiti di sabbia.

In Italia le opere di difesa costiera realizzate utilizzando geosintetici non sono attualmente molto diffuse, nonostante i primi interventi risalgano alla fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta. I più importanti interventi furono eseguiti a Caorle (Liberatore, 1993), a Lido di Dante, e su diversi tratti della costa dell'Emilia Romagna (Preti, 1993). In questi ultimi interventi, furono utilizzati sacchi riempiti di sabbia del volume di circa 2 m³, utilizzando geotessuti disponibili quel tempo, che non erano specificamente studiati per im-

piego in ambiente marino. Solo negli ultimi anni sono state realizzate difese con nuovi geosintetici utilizzando contenitori cilindrici di diametro compreso fra 3 e 4 m come per due barriere parallele sommerse ad Alassio, una serie di pennelli a Bordighera, e per pennelli sommersi a protezione di una spiaggia a San Rossore ed una a Capalbio o pennelli sommersi in sacchi a Marina di Massa (Aminti *et al.*, 2004; D'Eliso *et al.*, 2006). Sperimentazioni sulla durabilità sono in corso a San Vincenzo (Mori *et al.*, 2011).

I polimeri adoperati nella manifattura delle fibre dei geotessili, elencati in ordine decrescente di utilizzo, sono (Koerner, 2005):

- Polipropilene, PP (≈92%)
- Poliestere, PET (≈5%)
- Polietilene, PE (≈2%)
- Poliammide (nylon), PA (≈1%)

Con questi materiali possono essere realizzate opere di due diverse tipologie: strutture di protezione finalizzate alla riduzione delle azioni del moto ondoso incidente sulle strutture antiche ed elementi flessibili di copertura di strutture o reperti sommersi. L'uso di questi materiali innovativi trova i seguenti punti di forza:

- la disponibilità in commercio di prodotti molto differenziati fra i quali il progettista può scegliere in funzione delle diverse applicazioni;
- la maggiore esperienza che viene acquisita sulla base dei controlli sulle prime applicazioni;
- il limitato impatto delle operazioni di cantiere che rendono possibili interventi anche durante la stagione balneare;

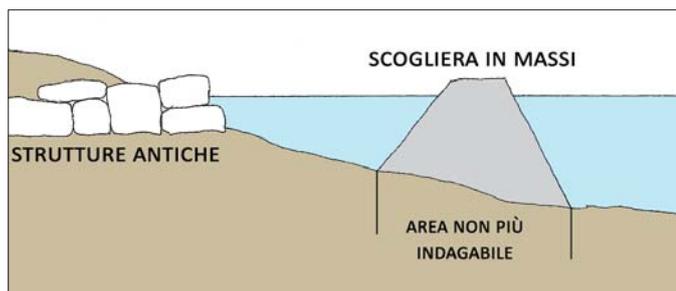


Figura 4 – Schema di protezione con scogliere.

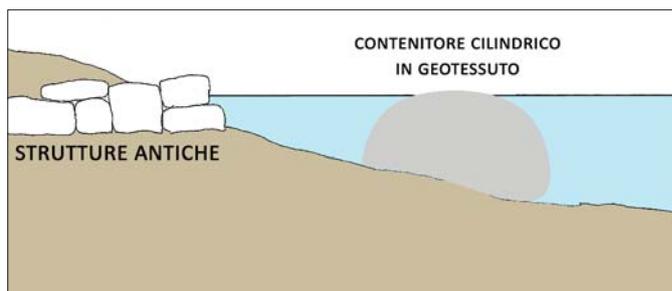


Figura 5 – Barriera in contenitori tubolari di grande diametro in alternativa a scogliere

- la rapidità dei tempi di costruzione
- costo sensibilmente ridotto rispetto ad opere tradizionali a scogliera.

Per quanto riguarda le strutture di protezione, possiamo tener conto che le opere basate sull'uso dei geosintetici sono sempre strutture sommerse con sezioni e geometria simili alle analoghe opere in massi, ma sono totalmente diverse per le modalità di costruzione e di eventuale rimozione.

Esistono tre tipi fondamentali di unità di contenimento in geotessile le quali si differenziano per la geometria, volume, metodi di riempimento:

- **contenitori cilindrici** di diametro compreso fra 1 e 5 m da riempire sul posto per via idraulica pompando all'interno una miscela di acqua e sabbia;
- **sacchi** da 1 a 10 m³ da riempire sia sul posto per via idraulica ma anche a terra e successivamente trasportati per costruire le barriere;
- **tappeti di protezione**. Questi ultimi possono essere costruiti con geocompositi formati accoppiando geogriglie e non-tessuti ed appesantiti con sabbia o ghiaietto. In generale questi tappeti dello spessore dell'ordine di 5-10 cm vengono costruiti in cantiere, trasportati arrotolati e stesi sulle superfici da proteggere.

Nelle figure seguenti sono illustrati alcuni possibili schemi come l'uso di geocontenitori di grande diametro in alternativa alle scogliere (Fig. 5) o contenitori di piccolo diametro e materassi per la protezione di strutture e relitti non ancora esposti all'attacco diretto del moto ondoso (Fig. 6).

Lo schema illustra sinteticamente che, durante un processo di arretramento della linea di spiaggia e di approfondimento dei fon-

dali, le zone protette rimangono almeno per un certo tempo stabili e permettono di mettere in atto opportune misure di salvaguardia o documentazione che possano prevedere anche l'eventuale rimozione delle protezioni.

4 CONCLUSIONI

La principale attitudine dei manufatti in geosintetico per la protezione di strutture sommerse è la possibilità di riempimento di contenitori a forma di materasso con sabbia prelevata sul posto, dopo aver appoggiato il contenitore vuoto sulle opere da proteggere.

Il volume di sabbia e quindi il peso della struttura protettiva può essere preventivamente definito in funzione della resistenza residua delle strutture archeologiche sommerse e dell'intensità prevista per gli attacchi ondosi. Infine, le protezioni possono essere facilmente rimosse tagliando i contenitori e rimuovendoli a pezzi, scoprendo nuovamente le strutture nel caso possano emergere nuove necessità di rilievo, scavo e documentazione o se devono essere sviluppati progetti di valorizzazione e fruizione.

Un piano di tutela e conservazione dei siti archeologici a rischio può essere dunque studiato coinvolgendo le competenze di geomorfologi ed ingegneri che possono condividere le loro competenze per la quantificazione dei fenomeni erosivi in atto, per la previsione del tempo disponibile per azioni atte a prevenire il danneggiamento di opere in prossimità della linea di costa.

L'esperienza acquisita nel settore della protezione costiera consente di elaborare criteri per i interventi preventivi o di urgenza utilizzando tecnologie consolidate meno invasive, reversibili e con costi inferiori agli interventi tradizionali.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AMINTI P.L., PRANZINI E. (1990), *Variation in longshore sediment tran sport rates as a consequence of beach erosion in a cusped delta*. Int. Conf. Littoral 1990, Marseille, pp. 130-134.
- AMINTI, P.L., CAMMELLI C., CAPPIETTI L., JACKSON N.L., NORDSTROM K.F., PRANZINI E. (2004), *Evaluation of beach response to submerged groin construction at Marina di Ronchi, Italy, using field data and a numerical simulation model*, Journal of coastal research, Special Issue No. 33, pp. 99-120.
- BRUNI S. (2000), *Le navi antiche di Pisa. Primi dati ad un anno dall'inizio delle ricerche*, Polistampa, Firenze.
- CAMILLI A., GAMBONI P. (2005), *Porti e approdi della costa toscana*. In: *Mar Exterior el Occidente Atlántico en época romana*, a cura di M. URTEGA ARTIGAS e M. J. NOAIN MAURA, Actas del Congreso Internacional (Pisa 2003), Roma, pp. 123-145.
- CIAMPOLTRINI G. (2001), *Insedimenti nella bonifica di Talamone (Orbetello, Grosseto): un contributo per l'insediamento perlagunare dell'Età del Bronzo in Toscana*. In: Atti della XXXIV riunione scientifica Ist. It. Preist. Protost., pp. 533-544.
- CIAMPOLTRINI G. (2003), *L'insediamento arcaico di Fonteblanda e l'urbanistica 'ippodamea' fra Orvieto e Vulci*. In: *Tra Orvieto e Vulci*, Atti del X Convegno internazionale di studi sulla storia e l'archeologia dell'Etruria (Orvieto 2002), a cura di G. della Fina (AnnMuseoFaina, X), pp. 279-299.
- D'ELISO C., CAPPIETTI L., PRANZINI E. (2006), *Field monitoring of a submerged groin*, 2nd. Intern Short Course and Workshop on Coastal Processes and Coastal Eng. Nuova Ed. Bios 2007, pp. 189-200.
- FRANCO L. (1997), *L'Ingegneria marittima nell'antichità. Retrospectiva per una valorizzazione*. In: *L'Acqua*, N.3, pp.7-27.
- KOERNER R.M. (2005), *Designing with Geosynthetics*, V ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- LAWSON C.R. (2006), *Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering*, Atti VIII International Conference on Geosynthetics, Yokohama, pp. 9-48.
- LUGER S., PRESTEDGE G., MCCLARTY A., SOLTAU C., SCHÖNNEES K., FLEMING C. (2006), *Morphodynamic Modelling for Design of a Beach Restoration Project*, Atti XXX International Conference of Coastal Engineering, San Diego, pp. 4046-4055.
- MORI E., AMINTI P.L. (2008), *Field experiment on a submerged barrier built with geotextile tubes*, Giornate Mediterranee di Ingegneria Costiera, Palermo.
- PILARCZYK K.W. (2000), *Critical review of geosystems in hydraulics and coastal engineering application*, Atti II European Geosynthetics Conference, Bologna, pp. 65-76.
- PRETI M. (1993), *La difesa del territorio costiero in Emilia Romagna: esperienze e considerazioni*, in *La difesa dei Litorali* a cura di P.L. Aminti, E.Pranzini, Edizioni delle Autonomie, Roma, pp. 283-296.
- SCHMIEDT G. (1970), *Atlante aerofotografico delle sedi umane in Italia. Le sedi antiche scomparse*, Istituto Geografico Militare, Firenze.
- SCHMIEDT G. (1975), *Antichi porti d'Italia*, in *L'universo* 45/24, 46/2, 47/2, Istituto Geografico Militare, Firenze.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il prof. Leopoldo Franco per le belle immagini da lui riprese sui porti antichi.

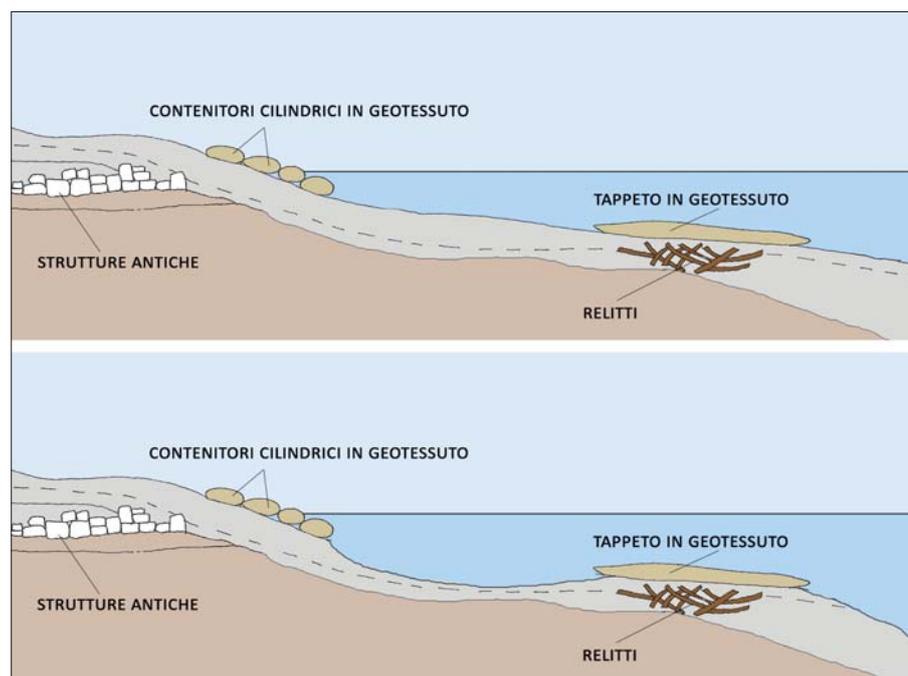


Figura 6 – Schema di protezione ed evoluzione durante un processo erosivo.

Analisi ambientale per il consolidamento della collina di Camarina e il restauro archeo-naturalistico del fiume Hipparis

GIANLUIGI PIRRERA
Presidente A.I.P.I.N. (Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica) Sezione Sicilia
email: jl.mine@libero.it

VERA GRECO
Soprintendente beni culturali e ambientali della provincia di Catania
email: veragreco@virgilio.it

1. GENERALITÀ

I siti archeologici, anche quando sono tutelati come SIC, è raro che beneficino di una corretta e contemporanea valutazione dei valori storico-culturali e naturalistici. Solo in parte i Piani di Gestione dei SIC suppliscono a queste difficoltà. Tra i casi siciliani le "Cave di Cusa", l'area dunale e il fiume Modione nel Parco Archeologico di Selinunte, le falesie della città di Tindari e di Eraclea Minoa (con grossi problemi di erosione marina) e nel ragusano la Cava d'Ispica e la Valle del Fiume *Hipparis* con il *Lacus Camerinensis* su cui insiste il Parco Archeologico di Camarina, occasione di riordino della frammentazione di competenze.

La foce dell'*Hipparis* e i luoghi lacustri erano cantati nelle *Olimpiche* da Pindaro:

*"Viene dall'amabile terra d'Oinómaos e Pélops,
e canta, o Pallás poliade,
il tuo bosco puro e il corso dell'Óanos
e il lago di questo paese,
e i sacri canali onde l'Hipparis bagna le genti
e veloce salda una selva di tetti robusti,
traendo un'intera città dalla penuria alla luce".*
(Per Psauimis di Camarina, col carro da Mule)

La foce ospitava un porto canale (oggi insabbiato ma ieri protetto dall'*antemurale*, opera di difesa marina) in un'area in delicato equilibrio tra dune (i cosiddetti *Macconi*) e wetland (il grande *Lacus Camerinensis*). Il porto greco, il cui imbocco era proprio alla foce dell'*Ippari*, soffriva di problemi d'interimento e di bonifica molto simili a quelli di Selinunte che, per la risoluzione nel suo porto canale sul fiume Modione, si era rivolta al grande Empedocle. La rete urbanistica greca suddivisa per *insulae*, comprendeva una cinta muraria di circa 7 Km. in gran parte crollata lungo il lato mare con la rovina delle Torri. Il crollo della collina ha altre similitudini nella Sicilia greca nelle le falesie di Eraclea Minoa e Tindari.

La principale criticità è quindi la linea di costa notevolmente arretrata per l'avanzare del mare che la aggredisce al piede anche per oltre 20 metri con medie annuali registrate ormai dell'ordine del metro. Inoltre la linea di costa è priva di dati storici certi. Il secondo

problema morfologico riguarda il porto canale nella foce dell'*Hipparis*: certamente molto più avanzato di oggi anche per il complesso squilibrio di depositi dai fiumi e spiaggiamenti, alterazione incrementata dall'improprio prolungamento del porto della vicina Scoglitti

ove si elevano "dune urbane" con le sabbie che vi si depositano e che invece sarebbero destinate dalle correnti al piede della collina di Camarina.

Oggi l'assetto originario dell'area è alterato sia a causa di una selvaggia e incon-



Figura 1 – Foto della collina negli anni Cinquanta, sono visibili i resti archeologici e la collina dell'acropoli soltanto in parte erosa. Fonte: Di Stefano G., Pelagatti P., 1998, Camarina, Cento anni di paesaggio storico, Sellerio Editore, Palermo.



Figura 2 – Fronte della frana della collina dell'acropoli. Foto Pirrera, 2010.

trollata esplosione edilizia lungo la costa che da vegetazioni invasive, dall'impoverimento di fanerogame e dall'impedita formazione di dune mobili e di deflussi regolari. L'antico corso del fiume ha perso del tutto l'originaria meandrazione, a valle notevolmente interrito dai depositi dunali.

2. CRITICITÀ E INTERVENTI

Nel contesto paesaggistico archeologico e naturalistico gli interventi d'ingegneria naturalistica assumono un ruolo archeologicamente rispettoso di *specie* storiche e di tecniche appropriate.

CRITICITÀ TECNICHE E BIOTECNICHE NEL RECUPERO DEL PAESAGGIO ANTICO E NATURALE

1. *Piano archeologico diverso da quello di campagna. Carenza di dati storici sufficientemente databili.* la documentazione fotografica più antica risale al periodo di bonifica del lago negli anni 50 e i capisaldi archeologici sono completamente sommersi.
2. *Stravolgimento del reticolo idrografico storico* accentuato proprio dagli scavi e dai volumi di rinterro.
3. *Tecniche di consolidamento e drenaggio appropriate dell'epoca che siano facilmente rimovibili per riprese di scavi archeologici.* Molti gli studi dell'AIPIN in proposito con gli Oppidum codificati come palificate "Roma", "Latina", etc. e tecniche riscontrate da documenti latini (es.: De Rustica di Columella) ed esperienze estere.
4. *Individuazione del paesaggio storico vegetazionale di riferimento con specie dell'epoca nel sito.*
5. *Maggiore pericolo per la vegetazione infestante ed alloctona e per i roditori.*
6. *Specie storiche i cui apparati radicali siano potenzialmente non distruttivi per i reperti sottostanti.*

Alla luce di ciò, per il consolidamento della falesia, oltre alla rimozione delle cause, occorrono interventi al piede a gravità quali palificate doppie in legno o strutture ad ombrello che recuperino progressivamente nel tempo la linea di costa. Ma sono necessari anche altri interventi quali il restauro dell'antimurale e la riforestazione dei fondali con fanerogame, per smorzare l'energia erosiva del moto ondoso, prima che questa si scarichi sulla pendice in frana. Altre azioni, apparentemente accessorie, quali il recupero pieno del porto canale (con il conseguente smaltimento delle sabbie al piede della falesia per fluitazione e naturale moto ondoso), del reticolo idrografico naturale e urbano di Kamarina, la viabilità greca e i drenaggi urbani, costituiscono il pacchetto di una campagna di interventi di scavo archeologico che,



Figura 3 – Schema localizzazione azioni per la protezione della collina di Kamarina.

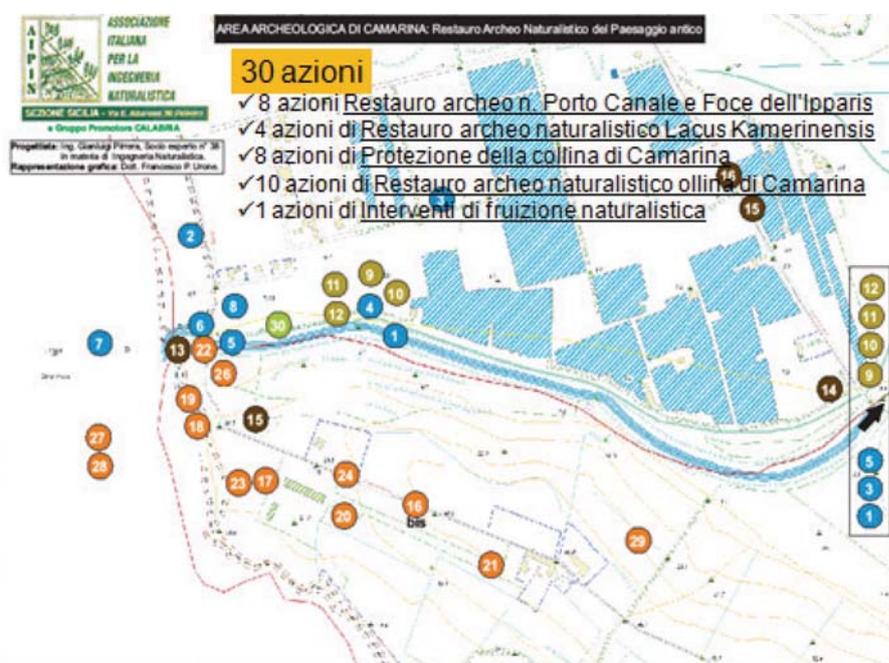


Figura 4 – Schema localizzazione azioni per il restauro archeo-naturalistico del Parco Archeologico Terracqueo di Kamarina.

guardando al paesaggio antico greco, sono benefici per il consolidamento della pendice.

Per risolvere i problemi dell'erosione della falesia sono stati individuati come necessari classificabili in 8 azioni:

1. Ripascimento dei volumi di consolidamento con sabbie provenienti dagli enormi volumi di scavo recuperabili da restauro archeologico, anche parziale, del Lacus Kamarinensis;
2. Gestione delle sabbie sottratte dalla diga del prolungamento del molo di Scoglietti, attualmente poste a rifiuto, da apportare al SIC costiero mediante fluitazione nell'Ippari e interventi programmati alla foce;
3. Razionalizzazione e incremento (con priorità per le tipologie storiche) dei

drenaggi stradali che scaricano le acque inopportuno aggravando la stabilità del fronte di scavo in prossimità della foce;

4. Utilizzo alternativo della strada esterna all'acropoli per l'accesso al Parco Archeologico Terracqueo da Sud, abbandonando l'attuale strada o riservandone l'uso a percorso esclusivo del Parco;
5. Stabilizzazione del fronte della frana con piante a forte radicamento da scegliere per le caratteristiche biotecniche consolidanti e per la presenza nel paesaggio antico dell'area;
6. Interventi di consolidamento al piede con tecniche appropriate di ingegneria naturalistica, privilegiando quelle storiche;

7. Restauro archeologico dell'antemurale" e come opera di difesa marina, per la protezione del piede della collina;
8. Protezione marina della spiaggia e della linea di costa del fronte di frana attraverso riforestazione del posidonieto

Tuttavia per l'eccessiva antropizzazione del territorio è necessaria una programmazione di interventi nell'intera area e a tal fine sono state individuate 30 azioni, come schematizzati nella tavola seguente.

3. FUNZIONALITÀ ARCHEO NATURALISTICA SPECIE CONSOLIDANTI E PAESAGGIO ANTICO.

Per quanto sopra sia le tecniche (drenaggi, stabilizzazioni, consolidamenti) che le piante devono essere rispettose di diverse funzionalità. Molte di queste tecniche sono normate all'interno del Piano Paesaggistico degli ambiti iblei, in quanto, facenti parte



Figura 5 – Schema Fascinate e drenaggi e riferimenti storici delle tecniche.



Figura 6 – Misure radicali del *Limonium hyblaicum* B, endemismo ragusano che resiste in piena frana. Foto Pirrera, 2010.



Figura 7 – La *Salsola oppositifolia*, è l'ultimo baluardo per le mura ormai scalzate al piede. Foto Pirrera, 2010.

dell'Abaco degli interventi di ingegneria naturalistica allegato al Piano (Decreto Assessorato Regionale BB.CC.AA. 10 Agosto 2010). La figura mostra sia alcuni drenaggi di cui si hanno riferimenti storici, che canalizzazioni possibili, ricordando che l'acropoli era originariamente difesa da canali, il cui restauro archeologico proteggerebbe idraulicamente la collina.

In particolare per le piante, la scelta delle specie va ponderata in funzione de:

- **funzionalità tecnica e biotecnica** (consolidamento, copertura vegetale, bioremediation);
- **funzionalità naturalistica** nel pieno rispetto del livello corologico;
- **necessità archeologiche:** qualunque intervento dovrà essere "retrofit" e non procurare danni a reperti;
- **funzionalità estetico – paesaggistica e gradevolezza cromatica ed olfattiva**
- **funzionalità storica d'uso**, cioè la coerenza con l'uso antico delle piante e delle coltivazioni;
- **funzionalità socio economica** (facile economia costruttiva/gestionale e generazione di indotto culturale)

Ad esempio per le necessità di consolidamento indispensabile è la conoscenza dei 6 indici sintetici di architettura radicale ("Semi-sfericità radicale", "Stabilità" e "Solidità", cfr. Cornelini Pirrera Federico, 2008), basati su misure di campo di altezze, ampiezze, profondità, lunghezze e spessori radicali. Il *Limonium hyblaicum* B, endemismo ragusano resiste in piena frana con la sua funzione stabilizzante e limitante dei fenomeni erosivi; ma è però poca cosa in rapporto all'enorme contributo di stabilizzazione del fronte in fase di crollo fornito dalla *Salsola oppositifolia*, chenopodiacee pioniera.

4. ANALISI MATRICIALE PER LA SCELTA SPECIE E CRONOPROGRAMMA

L'individuazione delle *specie* storiche è un problema molto complesso per scarse fonti bibliografiche. Le principali sono: quelle latine (Plinio il Vecchio, Columella, Catullo, Ovidio, Virgilio, etc.); riferimenti di contemporanei (Ciarallo, Barbera, Cattabiani, Pratesi etc.); reperti archeologici quali esami di semi, legni, fossili, o da pitture, mosaici, etc. A partire da un data base di oltre 220 *specie* idonee in ambiti archeologici siciliani, certamente limitativo e di primo orientamento, suddiviso in primi elenchi di alberi e arbusti da frutto, altre alimentari e foraggere, idrofite, tolleranti terreni saturi d'acqua e marine, altri alberi e arbusti non fruttiferi, altre erbacee e *specie* "fossili" del territorio siciliano, si è messo a punto un metodo analitico nel rispetto del paesaggio antico.

Tramite il commento di un'analisi ma-

da riscontri storico-archeologici. Sinteticamente per il consolidamento della falesia si è ottenuto il seguente risultato:

- **1° anno: a)** Espianto *specie* alloctone invasive tappezzanti (*Carpobrotus acinaciformis*) e dell'*Arundo donax* L. che nasconde il Porto Canale. Il canneto può danneggiare con gli apparati radicali eventuali reperti archeologici nel letto del fiume. L'espianto dell'*arundetofa*rebbe poi riemergere quelle idrofite di maggior valore naturalistico. **b)** Piantagione della Palma nana (riscontrata in moneta nel primo periodo, 492-485 a.C., ne attesta la presenza a Kamarina) e delle falesie della *Salsola oppositifolia*, *Chenopodiaceae pioniera*, che, con i forti apparati radicali contribuisce alla stabilizzazione del fronte in fase di crollo. **c)** Riforestazione dei fondali con *Posidonia sp.* riscontrata quale cuscino nella tomba n° 1497 (necropoli di Rifriscolaro, rif.

struzione dell'intera falesia in dipendenza da ben undici diverse competenze: Provincia Reg. di Ragusa per la ricostruzione dei fondali, Comuni di Vittoria, Comiso e Ragusa per il consolidamento al piede, Soprintendenza del Mare e Soprintendenza BB.CC.AA. di Ragusa a valle ed a monte della linea di costa, etc. Il neo istituito Parco archeologico di Camarina potrebbe superare però tali difficoltà attuale. La popolazione locali, sfruttando anche canali di campagne associazionistiche nazionali quali LiberaFiume del WWF e I luoghi del Cuore del FAI è attenta e interessata ad un recupero globale del problema dell'aggressione marina che è anche un recupero di immagine e di economia. L'approccio di studio multidisciplinare è ragion di più indispensabile per un progetto di recupero sensibile e coerente a obiettivi di qualità del paesaggio.

BIBLIOGRAFIA

- CORNELINI P., FEDERICO C. & PIRRERA G. (2008), *Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica – Primo contributo alla morfometria degli apparati radicali* – Azienda Foreste Demaniali Regione Sicilia – Collana Sicilia Foreste, n° 40, Issn 1972-1641 PP. 331.
- COSTANTINI L., (1987), *Analisi paleobotaniche nel comprensorio di Camarina* in "Archeologia Iblea" (a cura di Di Stefano G.). Distretto Scolastico N° 52 Ragusa, Assessorato Regionale BB.CC. Palermo.
- DI STEFANO G., PELAGATTI P. (1998), *Camarina, cento anni di paesaggio storico*, Sellerio Editore, Palermo.
- FILIBERTO G., PIRRERA G., CENTRO RING (2008), *Indagini storico botaniche finalizzate alla individuazione di specie idonee per la realizzazione di palificate storiche - Analisi interpretativa dei mosaici - Proposta alla direzione lavori per "lavori di recupero e conservazione Villa Imperiale del Casale di Piazza Armerina (EN)"*.
- GUERRERA., PIRRERA G., RUGGIERI M.C. & TUSA S. (2009), Concorso P. Antico Porto Chiavichetta Ravenna.
- GRECO V., PIRRERA G. (2009), *Kamarina un patrimonio da salvare (interventi di recupero del paesaggio storico e naturale nell'area archeologica di Kamarina)* - Atti convegno ecologia del paesaggio per la gestione delle aree umide Ravenna, 3-4- dicembre 2009.
- Pirrera G. (2009), *Abaco delle tecniche e prezario opere di ingegneria naturalistica per il paesaggio ibleo (Ambiti 15, 16 E 17)* - Regione Siciliana, Assessorato BB.CC.AA., Dipartimento BB.CC.AA. (Collana Progetto Paesaggio II) Palermo.
- PIRRERA G. (2009), *Ingegneria naturalistica nell'antichità e per l'archeologia - Capitolo 9 de "Ingegneria naturalistica per il paesaggio ibleo"* - Regione Siciliana, Assessorato BB.CC.AA., Dipartimento BB.CC.AA. (Collana progetto paesaggio II) Palermo, (Preprint).
- PIRRERA G., GRECO V., (2010), *Lacus Kamerinensis e foce dell'Hipparis: illusione o speranza di recupero archeo naturalistico per Camarina (Ragusa)* - Atti XV Convegno Internazionale Interdisciplinare Il Wonderland nel mosaico paesistico-culturale. Idea, Immagine, Illusione Palmanova UD, 16-17 Settembre 2010.

Tabella 1 – Elenco data base di specie del paesaggio antico idonee in ambiti archeologici siciliani

Tabella	Specie idonee in ambiti archeologici siciliani	n°
1	Alberi e arbusti da frutto	26
1b	Altre alimentari e foraggere coltivate	47
2	Idrofite, tolleranti terreni saturi d'acqua e marine	21
3°	Altri alberi non fruttiferi	20
3b	Altri arbusti non fruttiferi	33
3c	Altre erbacee ecc.	71
4	Specie "fossili" siciliane	5
Totale		223

triale di elenchi *specie*, è così possibile giungere a una verifica di coerenza storica, naturalistica e biotecnica e quindi indicazioni per la scelta delle *specie* da impiegare per il restauro.

Precisamente l'analisi matriciale tiene conto di:

- *Coerenza storico archeologica* (elenchi *specie* da riscontri archeologici, paleobotanici, da letteratura e fonti storiche nel sito e nella regione, *specie* "Fossili" siciliane).
- *Coerenza naturalistica e biotecnica* (elenchi *specie* da rilievo floristico, da associazioni vegetazionali esistenti e potenziali, endemiche o prioritarie, con morfometria e biotecnica radicale nota per capacità stabilizzanti e/o rischi per i reperti, alloctone invasive e invasive pericolose per il paesaggio antico "Lista nera").
- *Coerenza paesaggistica antica* (elementi fisici del paesaggio antico quali morfometria, idrologia, pedologia, clima, etc. beni culturali e di qualità del paesaggio attuale).

Per Kamarina l'applicazione del metodo di analisi matriciale ha permesso di individuare le *specie* a partire da una matrice che teneva conto di un elenco floristico complessivo di oltre 120 *specie* da rilievo dell'area di cui 13

Di Stefano). L'intervento è indispensabile (per contrastare con uno spesso cuscinetto vegetale di dissipazione l'erosione marina al piede della collina) congiuntamente al restauro archeologico dell'antimurale che frange l'onda prima della costa.

- **2° anno:** Piantagione di altre *specie* stabilizzanti: Ginepro coccolone e dell'importante endemismo *Limonium hyblaicum* B., che, con forti apparati radicali migliorano la biodiversità nella stabilizzazione della falesia a rischio.
- **3° anno** Piantagione del Lentisco e dell'Olivastro (2 foglie rappresentate in moneta d'oro del V a.c. anfore, rif. Di Stefano, e analisi paleobotaniche, cfr. Costantini L., tomba 1581 necropoli Rifriscolaro).
- **4° anno** Piantagione di altre *specie* da riscontri storici e *re-enforcement* delle azioni precedenti.

5. CONCLUSIONI

Le difficoltà tecniche interpretative del paesaggio antico che impongono il confronto multidisciplinare tra archeologi, ingegneri naturalisti, paleobotanici, geoarcheologi, e archeometristi, si aggiungono alla difficoltà di un unico e coordinato intervento di rico-

Co-evoluzione di società e ambiente nella laguna di Venezia.

Accrescimento o erosione?

GIOVANNI CECCONI

CLAUDIA CERASUOLO

FRANCESCA TURCO

Thetis - Consorzio Venezia Nuova

Le aree costiere ed i relativi beni archeologici sono soggetti alla continua minaccia dell'erosione causata dal moto ondoso, dall'eustatismo e dalla subsidenza. Le tecniche adottate per contrastare il fenomeno dell'erosione costiera sono molteplici dalle opere flessibili a basso impatto ambientale, come ripascimenti protetti, barriere frangiflutti soffolte, pennelli, agli interventi di ingegneria naturalistica con fascinate di sedimentazione, burghie, buzzoni, trapianti per consolidare l'area in cui il bene archeologico è inserito.

La memoria tratta del recupero morfologico della laguna di Venezia, dalla protezione dei litorali alla difesa dei sistemi a barena che si sono accresciuti sopra i resti di civiltà di circa 2500 anni fa.

IL RECUPERO MORFOLOGICO DELLA LAGUNA DI VENEZIA

La laguna di Venezia è da sempre un complesso sistema sociale e ambientale, in continua evoluzione.

La laguna di oggi è frutto combinato delle azioni naturali e di quelle poste in essere dall'uomo in età storica, a partire dal 1300 quando si cominciò a deviare il corso dei tributari sfocianti in laguna, per evitarne l'interramento.

L'impero Romano, l'impero Bizantino e la repubblica di Venezia hanno lasciato segni inconfondibili dei loro insediamenti in perfetta sintonia con il mantenimento dell'ambiente naturale, evidenziando che fin dall'antichità è stato riconosciuto l'alto valore attribuito al capitale naturale ed ai servizi che lo stesso svolge per supportare la qualità della vita dell'uomo.

La salvaguardia della città di Venezia dagli allagamenti e dall'erosione è strettamente collegata al risanamento della struttura idro-morfologica della laguna e dei litorali.

Spiagge, dune, barene, velme, fondali, canali hanno subito vistose trasformazioni per subsidenza, crescita del livello dei mari, drastica riduzione degli apporti sedimentari, eccesso di energia ondosa, navigazione, pesca con attrezzi meccanici.

Senza una organizzazione idro-morfologica e biologica complessa i sedimenti sono risospesi e trasportati dai fondali e dalle barene sino ai canali ove vi si depositano o da dove si disperdono fino in mare: ne risulta un

generale appiattimento con la perdita oltre che delle forme anche della molteplicità di habitat e di funzioni proprie dei sistemi idro-morfologici e biologici complessi.

Le attività di recupero della struttura idro-morfologica lagunare condotte dal Magistrato alle Acque a partire dal 1986 hanno riguardato il ripascimento di spiagge e il ripristino del cordone di dune, la ricostruzione e la protezione delle barene e velme, la difesa locale del centro storico di Venezia e di altri centri minori in laguna e la chiusura temporanea delle tre bocche di porto per mezzo di barriere mobili in occasione delle acque alte.

Per complessità degli habitat e caratteristiche della pressione antropica, la laguna di Venezia è uno speciale laboratorio in cui vengono effettuati interventi di recupero morfologico e ambientale, ispirandosi al millenario concetto veneziano del porto: la ricerca dell'armonia fra terra e mare, protezione e apertura, sviluppo e conservazione, che costituisce la positiva *co-evoluzione*.

1. IL RINFORZO DEI LITORALI

Per il rinforzo dei litorali veneziani, il Magistrato alle Acque di Venezia ha messo in atto una tecnica particolarmente efficace e flessibile: il ripascimento protetto.

Infatti la difesa di un litorale mediante la costruzione di una nuova spiaggia protetta con pennelli in pietrame è senza dubbio la soluzione economicamente più vantaggiosa.

La progettazione e la realizzazione di queste opere è stata fondata su numerosi approfondimenti tecnico-scientifici:

- con modelli matematici e fisici si è stabilita la dimensione delle celle e il volume delle sabbie di ripascimento in modo da garantire la profondità di spiaggia sufficiente per dissipare l'energia delle onde, anche in condizione di acqua alta, per burrasche con tempo di ritorno di 300 anni senza tracimazioni significative sopra le arginature costiere;
- con rilievi geofisici e ambientali si sono individuate e caratterizzate anche da punto di vista ambientale le cave marine definendo le tecniche e le modalità di prelievo per non arrecare danni permanenti alle comunità di fondale.

Dal 1995 ad oggi (2010) si è intervenuti su sei litorali per un tratto complessivo di 60 km di costa, apportando circa 9.2 milioni di m³ di sabbia per l'ampliamento o la ricostruzione delle spiagge; con 8 km di dune artificiali munite di frangivento ed impianti di ammofile.

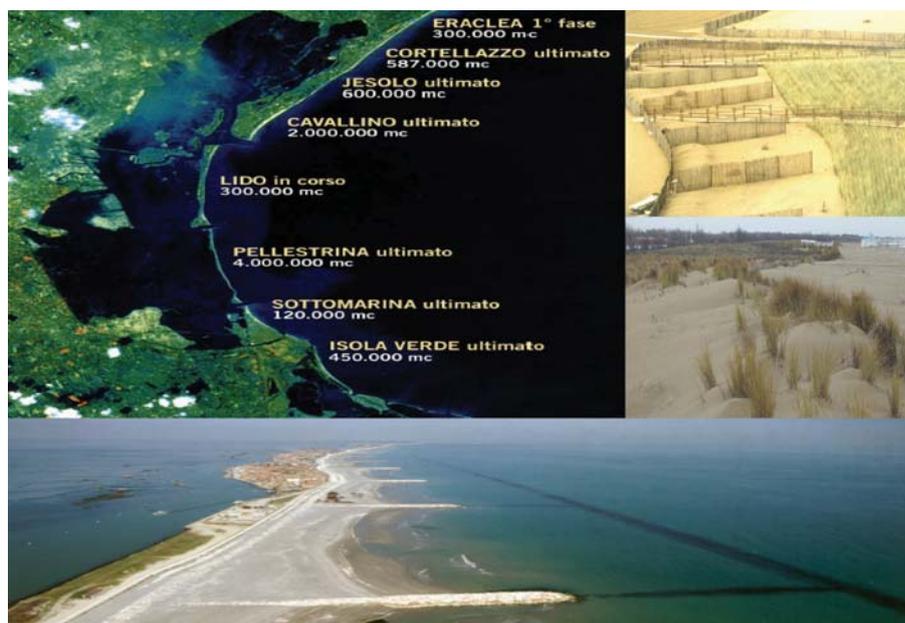


Figura 1 – Il rinforzo dei litorali veneziani: creazione di cordoni dunosi lungo il litorale di Cavallino (a destra); ripascimento protetto nel litorale di Pellestrina (sotto).

2. LA RICOSTRUZIONE DI VELME E BARENE

Riprendendo una consuetudine secolare, dal 1986 il Magistrato alle Acque di Venezia ha riutilizzato i sedimenti di risulta dei dragaggi di manutenzione dei canali per formare depositi che nel tempo, con l'energia della marea e delle onde, si sono naturalizzati formando habitat di velma e di barena. Oggi (2010), a oltre 20 anni di distanza dalle prime opere, la superficie di barene e velme ricostruite si estende per 13.2 km²: il doppio degli areali naturali che si sono erosi nello stesso arco di tempo (86 barene completate per 8.6 km², 14 velme e sovralti completati per

vi per ridurre la generazione e propagazione delle onde o per contenerne gli effetti erosivi della pesca e della navigazione portuale.

Sono state valutate le principali funzioni idro-morfologiche e ambientali svolte dalle 100 strutture morfologiche realizzate dal 1986 al 2007: le attività di monitoraggio hanno evidenziato che, generalmente, la progressiva evoluzione da un deposito di sedimento all'habitat a marea richiede un periodo di 5-10 anni, attraverso 5 stadi differenti per tessuto idro-morfologico, struttura della vegetazione e numero di specie nidificanti.

tali è accompagnato dal peculiare processo di adattamento della quota della struttura al livello medio del mare per cattura di sedimenti e di materia organica, con le stesse modalità di adattamento tipiche delle barene naturali.

2.2 AVIFAUNA NIDIFICANTE

Nel corso della loro evoluzione le barene artificiali costituiscono areali idonei alla sosta, alimentazione e nidificazione di diverse specie di uccelli di area umida: nelle barene artificiali della laguna di Venezia specie di particolare pregio come Volpoca, Beccaccia

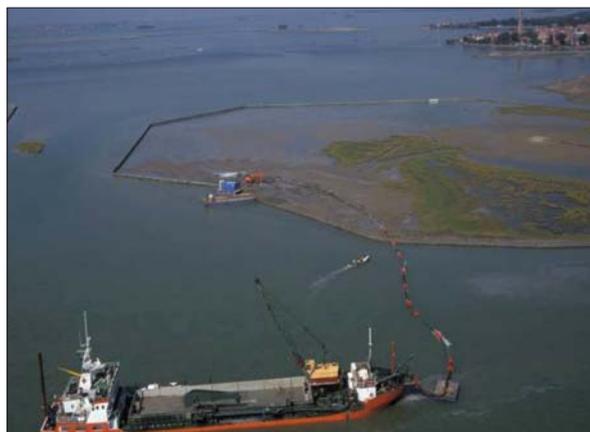


Figura 2 – Realizzazione di strutture morfologiche artificiali. Stadio 0: refluito di miscela di sedimento e acqua entro conterminazioni. Già nella prima fase di realizzazione si creano aree favorevoli all'alimentazione e alla nidificazione dell'avifauna.

1.5 km², 18 barene in corso per 2.3 km² e 5 velme in corso per 0.7 km²). Tali strutture sono state realizzate con il riuso di 20 10⁶ m³ di sedimenti.

Oltre al valore estetico, paesaggistico e naturalistico con habitat, biotopi e specie di pregio protette dalle direttive europee - come l'avifauna e l'ittiofauna degli ambienti umidi, l'entomofauna e le rare specie di vegetazione alofila - le barene e le velme assicurano resilienza al sistema idro-morfologico; esse infatti limitano la formazione e la propagazione delle onde attraverso i fondali, guidano i flussi lungo i canali e soprattutto, entro certi limiti, hanno la capacità di adattarsi alla crescita del livello medio del mare o dell'energia delle onde in virtù di specie vegetali e bentoniche che provvedono alla bio-stabilizzazione e alla regolazione della quota superficiale attorno alle normali alte maree.

Attraverso studi, sperimentazioni e soprattutto rilievi e monitoraggi, nel corso degli anni sono state selezionate le conoscenze necessarie per la gestione dei processi di naturalizzazione dei depositi di sedimento, per la migliore evoluzione da habitat di neoformazione agli assetti idro-morfologici e biologici di maggiore complessità.

Lo sviluppo del metodo ha riguardato: la messa a punto delle tecniche più idonee per la formazione dei depositi iniziali di velme e barene; i materiali e le strutture meno impattanti per proteggerne i bordi; le modalità di ricarica della superficie barenale, i dispositi-



Figura 3 – STADIO 1 da 2 mesi a 1 anno dalla realizzazione (sinistra) e STADIO 5 a oltre 10 anni dalla realizzazione (destra).

2.1 STRUTTURA DELLA VEGETAZIONE

Le barene sono habitat di interesse comunitario da tutelare secondo le normative europee.

Nella gran parte dei casi le strutture artificiali evolvono sino a presentare habitat a barena di interesse comunitario.

Dai monitoraggi, al dicembre 2007 ad esempio, risultava che le barene artificiali avevano una densità di habitat di pregio simile a quella delle barene naturali: infatti nelle barene naturali l'estensione degli habitat con specie di interesse comunitario era pari al 60% della superficie totale (24 km² su 40) e nelle barene artificiali era pari al 42% (2.7 km² su 6.3 rilevati).

Quando le strutture raggiungono gli stadi superiori infatti, lo sviluppo delle specie vege-

di mare, Cavaliere d'Italia, Avocetta, Frattino, Pettegola, Gabbiano reale, Fraticello, nidificano con un numero di coppie tale da contribuire significativamente al totale nazionale.

In particolare è stata rilevata la nidificazione di 13 specie di uccelli acquatici di cui 5 di importanza comunitaria (indicate con il simbolo *): Volpoca, Germano reale, Mestolone, Pavoncella, Beccaccia di mare, Cavaliere d'Italia*, Avocetta*, Corriere piccolo, Frattino*, Pettegola, Gabbiano reale, Sterna comune*, Fraticello*.

Mentre nelle barene naturali già di qualche km² nidificano 4-6 specie di interesse naturalistico: pettegola, germano reale, beccamoschino, cavaliere d'Italia, ma anche frattino e fraticello, con l'inserimento di barene

artificiali si riscontrano altre 3 specie: bec-caccia, volpoca, corriere piccolo, con un sostanziale aumento della ricchezza specifica.

Nelle barene naturali e soprattutto in quelle artificiali notevole è la densità di pet-tegola, una specie particolarmente importante, con 40 coppie / km².

3. DIFESA DELLA MORFOLOGIA ESISTENTE

Oltre alla costruzione di nuove strutture morfologiche è in corso un programma mirato di protezione delle barene naturali per contrastare il progressivo arretramento dei bordi esposti al moto ondoso, bloccando una erosione che ha effetti non solo sulla estensione della superficie barenale e della conservazione della vegetazione, ma soprattutto sulla conservazione della struttura idro-morfologica della rete idrografica dei canali a marea.

Senza questa struttura viene meno la capacità del sistema lagunare di mantenere la molteplicità di habitat con areali di transizione a diversa salinità e la capacità di cattura dei sedimenti comunque risospesi e recapitati in laguna.

Gli interventi si rendono particolarmente necessari quando è minacciata l'integrità delle unità di barene ad esempio dall'apertura di un varco nel bordo che mette a diretto contatto chiari interni con il canale esterno: attraverso questo varco infatti si sviluppano correnti che in breve tempo modificano l'intera idrografia dell'area. I bordi delle barene risultano interessati da intensi fenomeni erosivi che raggiungono valori di arretramento di 0.5-1.0 m/anno. L'erosione procede rimuovendo dapprima il sedimento al piede del margine provocando poi il collasso delle zolle di terreno vegetato soprastanti e la loro asportazione ad opera delle correnti. L'effetto maggiore è prodotto dal riflusso dell'acqua tracimante con le onde in barena che ritorna in canale.

Recenti rilievi sul Canale dell'Arco in laguna Nord confermano che è sufficiente una quantità minima di moto ondoso da traffico acqueo per innescare l'erosione del bordo che poi procede e aumenta dove il bordo si presenta irregolare.

A causa della crescita relativa del livello del mare non compensata da apporti sedimentari dai fiumi, alcune zone di barena non sono più in grado di bilanciare la perdita di quota per effetto della compattazione del suolo, della subsidenza e dell'eustatismo: ampie zone di barena diventano così perennemente sommerse, portando dapprima alla formazione di laghi interni (i chiari) che, sotto l'effetto del moto ondoso e delle escursioni di salinità, si espandono ("ponding") fino alla completa scomparsa della barena per frammentazione.

La perdita di quota infatti riduce la disponibilità di nutrienti che sono asportati soprattutto dal moto ondoso, pregiudicando lo sviluppo delle alofite in numero e specie e quindi la conservazione stessa degli habitat.



Figura 4 – Esempi di protezioni locali dei bordi di velme e barene naturali anche attraverso la sperimentazione di schermi di sedimentazione, ripascimento superficiale, canali di vivificazione e trapianti di vegetazione.

Gli interventi di ripascimento a strato sottile hanno avuto lo scopo di rallentare il processo di impoverimento di nutrienti per perdita di quota delle barene con il refluitamento di un sottile strato di sedimento che ha favorito lo sviluppo della vegetazione. I sedimenti, mescolati con acqua in modo da ottenere una miscela fluida, vengono spruzzati sulla superficie della barena con un getto aereo fino a formare un sottile strato di alcuni centimetri.

Per quanto riguarda la protezione di bordo delle barene naturali, dapprima si sono impiegate le palificate e poi, similmente a quanto avvenuto per le conterminazioni delle barene artificiali, le burghe con griglie a diversa resistenza e degradabilità riempite con materiali a differente grado di assorbimento del moto ondoso (pietrame, sabbia, argilla, conglomerato di conchiglie, legname, fasci di canna palustre, ecc.).

Sin dall'inizio è apparso chiaro che la quota di sommità non deve mai superare la quota di barena, né intercettare i ghebi per non alterare il flusso mareale sopra le superfici barenali;

le esperienze maturate fino ad oggi hanno portato a modificare i sistemi di conterminazione a seconda della esposizione al moto ondoso: in zone molto esposte si impiegano moduli ad alta resistenza (burghe con griglia in poliestere riempite con pietrame); in zone poco esposte sistemi a media resistenza costituite da moduli resistenti alla base e moduli degradabili sulla sommità; in zone non esposte sistemi a bassa resistenza, i buzzoni (degradabili) o le fascinate di sedimentazione per favorire la cattura dei sedimenti in sospensione. La protezione del bordo delle barene con sovralti o spiagge ridossate realizzate con il refluitamento di sabbia è risultato essere un ottimo sistema di protezione dell'ambiente naturale in quanto è un intervento che si adatta al locale regime delle onde ed è particolarmente efficace quando il fondale antistante è basso (profondità minori di 1 m), come nel caso delle barene della laguna centromeridionale. Negli altri casi, in cui vi sono canali e il fondale è profondo, le strutture in sabbia devono essere contenute e protette

con burghe e materassi di pietrame disposti o lungo il margine o in senso trasversale alla direzione del movimento (a pennello) con la funzione di ridurre il moto ondoso e trattenere il trasporto longitudinale dei sedimenti.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E SVILUPPI FUTURI

Gli interventi sin qui realizzati, con l'impiego di 20 milioni di m³ di sedimento, hanno garantito la conservazione quantitativa e funzionale degli habitat a barena della laguna di Venezia.

Il riuso di grandi quantità di sedimenti è una strategia d'intervento fondamentale che consente alle forme lagunari di adattarsi alla crescita relativa del mare conferendo resilienza al territorio. In futuro, per contenere i processi erosivi dei bassi fondali, dovuti all'eccesso di energia delle onde ed alle correnti trasversali sarà necessario concertare nuovi assetti del paesaggio che consentano di realizzare strutture di intercettazione e di canalizzazione, a velma o a sovralto di fondale, lungo il bordo dei canali, opere sin ora realizzate con esito positivo a livello sperimentale.

Sarà possibile introdurre queste nuove ed efficaci soluzioni solo se si supererà il vincolo formale del "com'era dov'era" in favore della "conservazione delle funzioni" naturali. Nella zona del Canale dei Petroli a Fusina e del Canale dei Marani a nord di Venezia, si sono già realizzati due importanti interventi per ridurre l'erosione del fondale per effetto del moto ondoso, in cui si impiegano i sedimenti sabbiosi provenienti dagli scavi per la costruzione delle barriere mobili alle bocche di porto.

In conclusione la gestione sostenibile dei territori lagunari costieri si fonda sulla co-evoluzione del sistema naturale e di quello antropico avviando e modulando i processi idro-morfologici e biologici e biologici strutturanti, mantenuti dalle energie naturali del vento, delle onde, delle maree per il trasporto di acqua, sedimenti e nutrienti, dell'energia solare per la produzione primaria, la biodiversità, la catena trofica a partire dai feltri microbici e le piante di barena e di fondale.

Innovazione tecnologica e metodologica ed aspetti culturali nella stima e nella gestione del rischio di erosione costiera

LUIGI FOZZATI
Soprintendenza per i Beni Archeologici della
Regione Friuli Venezia Giulia – Trieste

EDI VALPREDA
ENEA- Agenzia Nazionale per l'Innovazione
Tecnologica, l'Energia e lo Sviluppo Economico
Sostenibile – Bologna.

L'archeologia subacquea presenta problemi di conservazione *in situ* di notevole importanza: sotto il profilo patrimoniale, per la vastità dell'area interessata dal fenomeno e per la consistenza potenziale del danno; sotto il profilo temporale, per la rapidità dell'evento sia nell'ordinarietà sia ancor più nelle fasi catastrofici che; sotto il profilo della prevenzione, inadeguata a livello meteorologico e di grandi eventi climatici. Da questi elementi dinamici derivano due fattori che incidono direttamente sull'esercizio della tutela ovvero sia della conservazione del potenziale patrimoniale esposto a rischio sia della salvezza di complessi di dati:

- l'esiguità del tempo a disposizione dell'archeologo per intervenire in tempo;
- l'alto costo di ogni singolo intervento.

È ovvio che a questo punto va rivisto radicalmente il significato di territorio della ricerca archeologica.

Nella gestione del rischio di un territorio i concetti di conservazione e dinamicità evolutiva del territorio stesso sono fondamentali seppure scarsamente presenti (in forma scientifica) nelle strategie e nella percezione, sia da parte del tecnico, sia da parte dell'amministratore a cui questa gestione compete.

La conservazione del patrimonio e la dinamicità del territorio sono due elementi che l'uomo desidera conciliare e immagina di farlo attraverso la tecnologia; questa aspettativa (spesso frustrata) diventa particolarmente evidente nelle zone ad elevatissima dinamicità quali sono le zone costiere, ed in particolare quelle basse e sabbiose che, in Italia rappresentano circa il 40% della lunghezza totale del litorale complessivo.

Gli effetti conseguenti all'erosione costiera e la diffusione di condizioni di elevato rischio per erosione (come per allagamento dovuto a mareggiate e per tsunami) nelle zone costiere italiane, evidenziano questa dicotomia e la difficoltà dell'intento di conciliazione.

L'idea di conservazione implica che vi sia, nella società interessata, una precisa individuazione, condivisa, di attribuzione di valori e quindi di identificazione e percezione di bene patrimoniale. Evidentemente a prescindere dalla perdita di vite umane.

Poiché un valore è determinato non solo e non sempre da una valutazione intrinseca assoluta, ma piuttosto e più spesso dal significato che viene dal "sentire comune" si può dire che dalla percezione "comune" nasce il concetto stesso di rischio.

È il valore che determina il rischio, che è il danno atteso su un bene rispetto ad un possibile evento.

Occorre pertanto considerare (e agire) sulla percezione e sulle aspettative della collettività oltre che sulla tecnologia. Questa ultima consente infatti di modificare profondamente un ambito territoriale. Nessun altro ambito si presta, così come la zona costiera, ad evidenziare questo meccanismo: un'opera di protezione, un intervento di mitigazione del rischio induce modifiche della dinamicità del sistema costiero (spiaggia sommersa, emersa, dune e ambienti di retro-spiaggia) che controllano l'evoluzione stessa del tratto costiero interessato e di quelli limitrofi, modificando le correnti, la deposizione di sedimenti, l'habitat vegetale ed animale, l'aspetto, la fruibilità.

La tecnologia si propone (e viene percepita) spesso come possibilità assoluta di risolvere i problemi del "malfunzionamento" naturale inteso come l'espressione dell'evento "calamitoso" in quanto danneggia il sistema sociale, ecologico, architettonico, culturale e sociale espresso dall'uomo.

Quindi deve essere contrastato. Ma allo stesso tempo, sempre più si sostiene l'esigenza di mantenere la naturalità del paesaggio e dell'ecosistema "originali", associando questo concetto di originale o "naturale" alla fotografia del sistema interessato nel momento in cui si interviene.

Un sistema in cui l'uomo ed i suoi insediamenti sono nel nostro territorio spesso un tutt'uno.

Difficile però conservare tutto: beni, patrimonio, ambienti naturali e, al contempo, confermare il proposito di usare il territorio nell'idea che sia possibile un modello di perenne sviluppo in termini economici quale noi oggi conosciamo. Impossibile d'altra parte definire (in senso geologico o geografico) il momento, lo status primigenio, a cui ripristinare il sistema.

Questo è il primo punto di riflessione: l'idea di fermare l'evoluzione, specie se costiera, propone un modello di sviluppo statico e ripristino retroattivo, che non concepisce cambiamenti nella percezione che si traducono in cambiamenti anche nelle esigenze di fruizione del territorio e dell'ecosistema. Questo quando invece la dinamicità del contesto culturale e sociale è almeno altrettanto dinamica di quella dell'ambito geografico ecologico sistemico.

Si arriva ad immaginare che una tecnologia miracolosa (magari ancora da scoprire) risolverà i problemi consentendoci di immaginare oggi di non variare mai il nostro modo di essere ("mito di Prometeo") e questo stesso approccio viene proposto anche nell'idea di sviluppo del sistema economico-energetico planetario.

Ma, la percezione cambia e può modificare il concetto di rischio: solo ciò che ha valore implica rischio per la sua perdita. La percezione del valore determina e modifica pertanto le scelte di intervento e le scelte tecnologiche che lo sostengono e quindi anche le scelte di sviluppo. E la percezione del valore dipende fortemente dai modelli culturali e sociali. Questi a loro volta determinano e producono variazioni anche nelle esigenze di fruizione del territorio e, di conseguenza, nel modello di sviluppo, quindi anche nelle esigenze (o priorità) di intervenire a "difesa di un determinato ambiente rispetto agli eventi potenzialmente calamitosi che vi si potranno manifestare.

In realtà da un punto di vista geologico questo è un evidente paradosso: gli eventi naturali sono l'espressione di un sistema Pianeta Terra vivo, in cambiamento che evidentemente non si può fermare e con cui solo la convivenza è possibile oltre che indispensabile, per noi.

Trasferendo però nel concreto il concetto di convivenza, essendo questa attuata attraverso gli interventi puntuali dell'amministratore (sempre più locale) ecco che la scala di valutazione e di aspettativa delle azioni intraprese diventa estremamente breve: quella della legislatura.

Quindi l'idea di un piano strategico geograficamente vasto ed a lungo termine, che

consentirebbe di ragionare, se non certo a scala geologica, ma certamente in modo più adatto a progetti di sostenibilità a lungo termine e di conservazione di scelte diverse possibili per le generazioni future, si scontra con il modello di gestione, reale, quotidiano del territorio.

E, comunque, anche con questa stretta prospettiva temporale sono individuabili due modelli di sviluppo – gestione per il rischio di erosione costiera:

- 1) Preservare il contesto del paesaggio del sistema ambientale e dei contenuti storico-culturali (i “beni”) in esso presenti a detrimento di un prevalere delle esigenze di sviluppo ed uso economico: creando aree protette (santuari ambientali, parchi archeologici, ecc), educando e gestendo utilizzi rispettosi e “diversi” della costa, cambiando il concetto di diritto di uso delle spiagge in idea di bene a disposizione ma da rispettare ed anche proponendo cambiamenti dell’idea stessa di sviluppo ed utilizzo del territorio.
- 2) Trasferire (o abbandonare) beni a rischio e rimodellare il territorio al limite tra terra mare con il ricorso alle soluzioni tecnologiche più avanzate che non siano necessariamente vincolate alla conservazione del paesaggio attuale o passato (come avviene già diffusamente nei paesi in via di sviluppo) o immaginando una conciliazione architettonica che opera sul piano artistico e propone un restyling del sistema costiero.

Entrambe le soluzioni non si possono improvvisare o mescolare senza una precisa progettazione dei limiti reciproci dei due modelli come sta invece avvenendo oggi, in particolare nel territorio italiano.

In entrambe una seria capacità di discriminare il valore dei beni è indispensabile. Altrettanto indispensabile è, a nostro avviso, una strategia nazionale di riferimento a cui ricondurre armonicamente le specificità locali considerando la possibilità (e probabilità) che con i cambiamenti climatici la dinamicità del sistema costiero aumenti anche considerevolmente.

In ogni caso servono strumenti anche culturali e metodologici per sostenere nuovi criteri di conservazione, selezione e determinazione del costo delle scelte di protezione e di sviluppo differenziato del territorio costiero ed occorre imparare a coinvolgere la comunità nelle scelte e nel processo di gestione-sviluppo.

Occorrono gli strumenti di base come sono l’analisi spaziale, la gestione integrata della pianificazione della costa secondo le procedure definite a scala europea dalla GIZC (e che in Italia non sono ancora concretizzati se non troppo a macchia di leopardo) e serve una

maggiore, reale e più qualificata innovazione tecnologica.

La necessità di risposte chiare e precise rinvia al concetto di integrazione delle competenze tra Ministero per i Beni e le Attività Culturali e Ministero per l’Ambiente: la mappa aggiornata della linea di costa di tutta l’Italia costituisce di per sé già un patrimonio di informazioni di alto costo gestionale sia sotto l’aspetto finanziario sia sotto l’aspetto del tempo dedicato. Inoltre, va da sé che solo un ufficio centrale di raccordo può garantire quella procedura sistematica e puntuale per l’applicazione di protocolli d’intervento complessi: la recente, per l’Italia, Convenzione Unesco per la Conservazione del Patrimonio Culturale Subacqueo ne è una conferma⁽¹⁾.

(1) Si fornisce di seguito una bibliografia esplicativa sull’argomento trattato.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1987), *Déplacement des lignes de rivale en méditerranée d’après les données de l’archéologie*. Parigi: CNRS.
- ABELLI L., R. BALDASSARI, S. MANTELLINI, S. TUSA (2006), *L’insediamento tardo romano della Baia di Scauri (isola di Pantelleria). Dati preliminari delle nuove ricerche. L’Africa romana XVI*: 2439-56.
- AMOROSI A., R. PIGNONE (a cura di) (2009), *La pianura. Geologia, suoli e ambienti in Emilia-Romagna*. Bologna: Pendragon.
- BAILEY G., J. PARKINGTON (1988), *The archaeology of prehistoric coastlines*. Cambridge: Cambridge University Press.
- BARBIERA L. (a cura di) (2000), *Mare, territorio, ambiente. Le coste come risorse. Regole, strategie e incertezze*. Roma: Cacucci.
- BARD K.A., R. FATTOVICH (a cura di) (2007), *Harbor of the Pharaohs to the Land of Punt*. Napoli: Università degli Studi di Napoli “L’Orientale”.
- BONDESAN A., C. LEVORATO (a cura di) (2008), *I geositi della provincia di Venezia*. Venezia: Provincia di Venezia e Roma: SIGEA.
- BONDESAN A., S. PRIMON, V. BASSAN, A. VITTURI (a cura di) (2008), *Le unità geologiche della provincia di Venezia*. Venezia: Provincia di Venezia e Padova: Università di Padova (Dipartimento di Geografia “G. Morandini”).
- BOUND M. (1992), *Archeologia sottomarina alle Isole Eolie*. Marina di Patti: Pungitopo.
- CALLEGARI F. (2003), *Sistema costiero e complessità culturale*. Bologna: Pàtron.
- CIABATTI M. (1982), *Elementi di idrologia superficiale*. Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna (CLUEB).
- Coste. Prevenire, Programmare, Pianificare* (2008), Atti del Convegno di Maratea 15-17 maggio 2008. Potenza: Autorità di Bacino della Basilicata.
- CREMONINI G. (1977) (2ª ed.), *Rilevamento geologico*. Bologna: Pitagora editrice.
- DE NICOLÒ M.L. (1993), *Conca e Cattolica. La leggenda della città sommersa e le origini del nome*. Cattolica: Centro Culturale Polivalente – Galleria Comunale S. Croce.
- DE SIVO B. (a cura di) (2003), *La riqualificazione delle coste del Mediterraneo fra tradizione, sviluppo e interventi sostenibili*. Napoli: Arte Tipografica.
- EMPEREUR J., Y. (2000), *Alessandria riscoperta*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato-Libreria dello Stato.
- FORTEY R. (2005), *Terra. Una storia intima*. Torino: Codice edizioni. (Edizione speciale 2007 per il mensile *Le Scienze*).
- GARZANTI E. (1996), *Scienze della terra*. Milano: Vallardi.
- GINESU S. (a cura di) (2011), *La Costa d’Italia*. Sassari: Carlo Delfino Editore.
- IOLI GIGANTE A., C. POLTO (2004), *Le isole del vento. La rappresentazione cartografica del territorio eoliano*. Bologna: Pàtron.
- LAMBOGLIA N. (1961), *Problemi tecnici e cronologici dello scavo sottomarino al Grand Congloué. Rivista di Studi Liguri XXVIII* (1-4) (estratto).
- LOLLINO G. (a cura di) (2000), *Condizionamenti Geologici e Geotecnici nella Conservazione del Patrimonio Storico Culturale*. Torino: CNR-IRPI.
- MASTRONUZZI G., C. PIGNATELLI, P. SANSONO, M. MILELLA, G. SELLERI (a cura di) (2008), *2nd International Tsunami Field Symposium Puglia – Ionian Islands 2008*. Abstract Book. Bari: Digilabs.
- MASTRONUZZI G., P. SANSONO, H. BRUCKNER, A. VOTT, C. PIGNATELLI, R. CAPUTO, D. COPPOLA, D. DI BUCCI, U. FRACASSI, S.M. MAY, M. MILELLA, G. SELLERI (2008), *Paleotsunami imprints along the coast of the central Mediterranean sea. 2nd International Tsunami Field Symposium Puglia – Ionian Islands 2008*. Bari: Digilabs.
- MAURO A. (1983), *Baia e Miseno tra ‘700 e ‘800*. Napoli: Giannini.
- PANE G. (1992), *I Campi Flegrei oggi. Estratto da Civiltà dei Campi Flegrei*. Atti del Convegno Internazionale a cura di M. Gigante. 343-91.
- PASKOFF R. (1998) (3ª edizione). *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Parigi: Armand Colin.
- Per la sicurezza del territorio 2005/2006*. Bologna: Regione Emilia Romagna.
- POGGESI G., P. RENDINI (1997), *Memorie sommerse. Archeologia subacquea in Toscana*. Grosseto: Amministrazione Provinciale di Grosseto.
- PRANZINI E. (2004), *La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*. Bologna: Zanichelli.
- RACE G. (1983), *Baia Pozzuoli Miseno. L’impero sommerso*. Bacoli: Il Punto di Partenza.
- RAGAZZI F., P. ZAMARCHI (a cura di) (2008), *I suoli della provincia di Venezia*. Venezia: Provincia di Venezia e Castelfranco Veneto: ARPAV.
- ROTONDI G., M. ZUNICA (1995), *Il Lido di Sottomarina. Processi interattivi di costruzione e consumo*. Padova: Dipartimento di Geografia – Università di Padova.
- VALLARIO A. (2001), *Il dissesto idrogeologico in Campania*. Napoli: Cuen.

Siti archeologici a rischio di erosione nella laguna di Venezia.

Evoluzione geomorfologica e popolamento antico

PAOLA FURLANETTO⁽¹⁾, ALDINO BONDESAN⁽¹⁾, LUGI FOZZATI⁽²⁾, ERNESTO CANAL⁽³⁾, ROBERTO ROSSELLI⁽⁴⁾, BARBARA BERTANI⁽⁴⁾

(1) Dipartimento di Geografia, Università di Padova
aldino.bondesan@unipd.it
paola.furlanetto@akeo.191.it

(2) Soprintendenza per i Beni Archeologici del Friuli Venezia Giulia
luigi.fozzati@beniculturali.it

(3) Ispettore onorario, Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto

(4) Magistrato alle Acque – Consorzio Venezia Nuova
roberto.rosselli@magisacque.it
barbara.bertani@magisacque.it

La laguna di Venezia sta subendo un costante e preoccupante fenomeno di erosione delle barene e dei margini interni lagunari sia a causa dell'innalzamento del livello marino che per effetto del moto ondoso e delle trasformazioni indotte alla dinamica delle acque lagunari. L'ambiente lagunare veneziano presenta delle condizioni di rischio da erosione nei confronti del patrimonio archeologico particolarmente importanti e assume dei caratteri che lo differenziano dagli altri ambienti più propriamente costieri. Per comprendere le modalità di interazione tra dinamiche naturali e sviluppo dell'inseadimento è necessario conoscere i modi in cui si è realizzata la morfogenesi lagunare e come l'Uomo abbia interagito con la laguna, specialmente in rapporto al mutare tra spazi acquei e terre emerse. La ricerca, che si è avvalsa del metodo multidisciplinare messo a punto e già applicato nella elaborazione della carta geomorfologica della Provincia di Venezia (Bondesan, Meneghel, 2004), della carta delle Unità geologiche della Provincia di Venezia (Bondesan *et al.*, 2009) e della Carta delle unità di paesaggio geo-archeologiche della Provincia di Venezia (Furlanetto, 2008, in stampa, c), ha coinvolto l'archeologia, la cartografia storica, la geomorfologia e la geologia. L'archeologia della Laguna è storia recente: la conferma dell'esistenza di una laguna abitata in epoca antica, negata da gran parte del mondo accademico fino a pochi decenni fa, si deve alle ricerche ormai cinquantennali di Ernesto Canal: centinaia di siti identificati e migliaia i reperti raccolti che hanno messo in luce un ambiente lagunare in epoca antica densamente antropizzato e molto diverso dall'attuale. La "scoperta" dell'archeologia lagunare e la necessità di operare e svolgere una efficace azione di tutela e salvaguardia hanno portato alla fine degli anni '80 alla nascita di Nausicaa, il nucleo di archeologia subacquea diretto da Luigi Fozzati, che in vent'anni di attività ha prodotto un migliaio tra scavi, sondaggi e indagini archeologiche.

Sono attualmente due le banche dati dei siti archeologici, realizzate dal CVN - Servizio Informativo, sotto la direzione scientifica della Soprintendenza Archeologica del Veneto: il db SITAR (Siti archeologici lagunari) che contiene 168 siti identificati da Ernesto Canal, e una cinquantina di siti frutto di scavi e sondaggi recenti, e il data base Omnia Laguna, ancora in corso e a cura di Paola Furlanetto, nato con l'intento di ordinare, registrare e conservare documenti e informazioni prodotti da Ernesto Canal. Un ruolo importante nella costruzione delle carte di rischio archeologico ha assunto la cartografia storica cinquecentesca che riporta una laguna per molti aspetti simile a quella antica, e periodicamente, per gran parte emersa, come quella, ad esempio, di età romana. Il progetto Imago (*Image Map Archive Gis Oriented*) (2000-2011), finanzia-

to dal CVN-Servizio Informativo e a cura di Paola Furlanetto e Aldino Bondesan, è finalizzato alla creazione di un db di carte storiche (circa 350) conservate all'Archivio di Stato di Venezia e alla elaborazione di carte digitali riferibili al XVI e XVII secolo, (Furlanetto *et al.*, 2004; Furlanetto, Primon, 2004; Furlanetto *et al.*, 2009; Bondesan, Furlanetto, in stampa; Furlanetto, Bondesan, in stampa; Furlanetto, in stampa, b).

Molto utile si è rivelata la Carta delle erosioni e delle sedimentazioni (1970-2002), prodotta dal Consorzio Venezia Nuova - Servizio Informativo (Datei, Monsutti, 2010), che è stata messa a confronto con la carta dei siti archeologici, con la cartografia storica, con la carta geomorfologica, con le molte radiodazioni e con gli studi sulle oscillazioni dei livelli marini curate dal CNR e da Ernesto Canal.

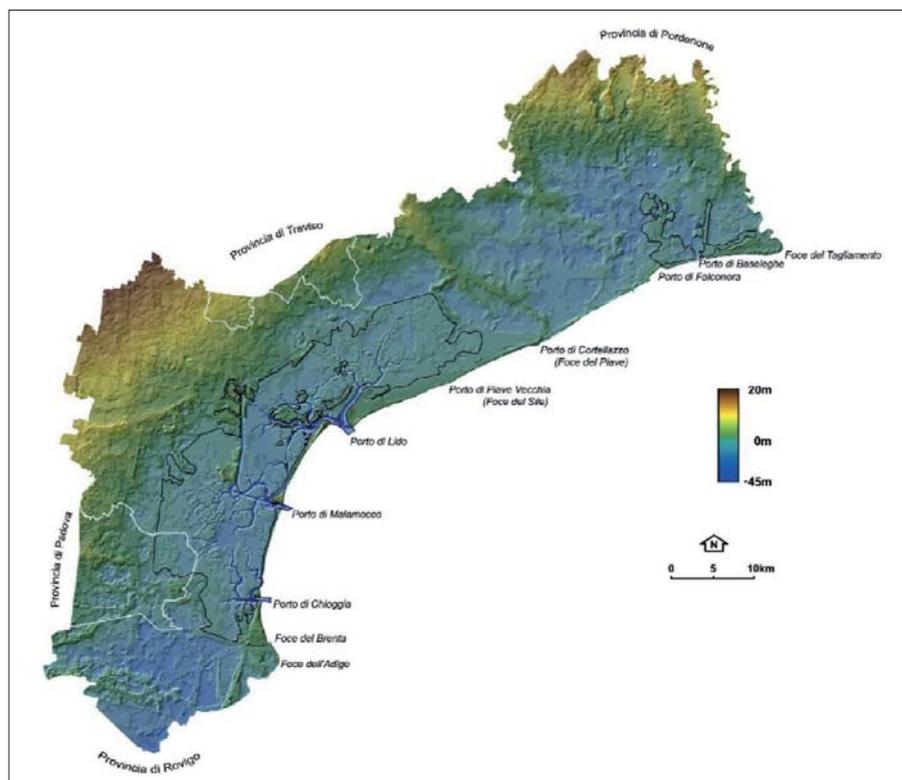


Figura 1 - Modello Digitale del Terreno della provincia di Venezia a tinte altimetriche e lumeggiamento (da BONDESAN, MENEGHEL, 2004).

Il risultato è l'elaborazione di carte sincroniche, dal Mesolitico all'età medievale che, seppur a grandi linee, da una parte rivelano l'evoluzione della laguna, la sua estensione e il popolamento nelle varie epoche, dall'altra consentono, attraverso il confronto con le altre disponibili, di identificare le aree archeologiche attualmente più a rischio di erosione in Laguna.

La laguna di Venezia è situata nella fascia costiera dell'Alto Adriatico tra la foce del fiume Brenta posta a sud e il tratto finale del Sile (Alveo della Piave Vecchia) e occupa una superficie di circa 550 km². Il bacino lagunare si estende per la lunghezza di circa 55 km e per una larghezza di circa 13 km ed è separato dal mare da un cordone litoraneo costituito da 4 stretti lidi: il litorale di Sottomarina, di Pellestrina, del Lido e del Cavallino. Le bocche a mare, attraverso le quali avviene il periodico flusso e riflusso delle acque marine in connessione al ciclo di maree, sono 3: la Bocca di Porto di Chioggia, di Malamocco e di Lido. All'interno del bacino lagunare oltre a Venezia e Chioggia, che sono le due isole maggiori, vi è un gruppo di isole di dimensioni apprezzabili e abitate, come Murano, Burano e Torcello, mentre altre sono piccolissime e disabitate.

Le prime tracce della presenza dell'uomo risalgono al Mesolitico (9500-4500 a.C.) e sono limitate alla fascia perilagunare prossima al margine attuale e compresa tra Sile e

Marzenego per il Mesolitico antico e tra Piave e Marzenego, soprattutto sulle estremità dei dossi pleistocenici di Brenta e Piave, per il Mesolitico recente (Marsale, 1991).

La laguna di Venezia non esisteva ancora e la linea di costa si trovava a qualche decina di chilometri più a sud del margine interno attuale, secondo gli studiosi di circa 40 km (Broglio, Favero, Marsale, 1980). L'innalzamento del livello marino concomitante alla trasgressione flandriana porterà alla sua formazione, il cui inizio, per il settore centrale, viene fatto risalire a circa 5000 anni fa (Favero, Serandrei Barbero, 1980; Serandrei Barbero *et al.*, 2001); la linea di costa, coincidente grosso modo con l'attuale, risulta formata soltanto alla fine del Mesolitico, nelle fasi finali del Castelnoviano.

Le prime tracce antropiche, che risulta ancora problematico mettere in relazione con la formazione della laguna di Venezia, risalgono al Neolitico Tardo o più probabilmente nel Neolitico/Eneolitico. Nel III millennio sono documentati i primi insediamenti lagunari a Venezia: in profondità, a Fondaco dei Turchi e Palazzo Tiepolo- Papadopoli e Albergo Ascensione, nei pressi di Piazza S. Marco (Urbani De Gheltof, 1880-1881) e nelle isole di S. Michele di Zampanigo, a Torcello (Malizia, 1985) e al Lazzaretto Nuovo (Tombolani, 1985). Ed è proprio in questa fase che sono documentati i primi sedimenti lagunari, il margine interno

si sta lentamente avvicinando all'attuale e, nella laguna meridionale, la linea di costa raggiunge l'allineamento Motte Cucco-Peta de Bo-Val Grande.

Risulta ancora difficile precisare l'estensione della laguna nell'età del Bronzo: analisi congiunte archeologiche e sedimentologiche (Canal, Cavazzoni, 2001) hanno evidenziato una fase di forte regressione marina nell'età del Bronzo, intorno al 1500 a.C., caratterizzata dall'emersione di gran parte della laguna. La vivacità insediativa che caratterizza la fascia perilagunare nell'età del Bronzo medio-recente (Bianchin Citton, 1994; Furlanetto, in stampa, a) trova riscontro per ora in laguna a Lio Piccolo, Mazzorbo, Torcello e San Giacomo in Paludo, per ora labili indizi che rimandano all'esistenza di direttrici endolagunari che si snodavano attraverso il Canale Cenesa-San Felice da una parte e il Sile dall'altra. Un'altra via di penetrazione lagunare, commerciale e culturale, viene suggerita dalla presenza di frammenti di ceramica micenea, databile al XV-XII secolo a.C., lungo un percorso che lambisce Torcello (Di Filippo Balestrazzi, 2000; Favaretto, 1982), e Mazzorbo (Bianchin Citton, 1999; Rossignoli, 2003). Il margine era prossimo a quello attuale e la linea di costa, identificata grazie a carotaggi e sondaggi, fotointerpretazione e immagini satellitari, risulta arretrata rispetto ai lidi attuali proprio sull'allineamento Lio Piccolo-Lio Maggiore.

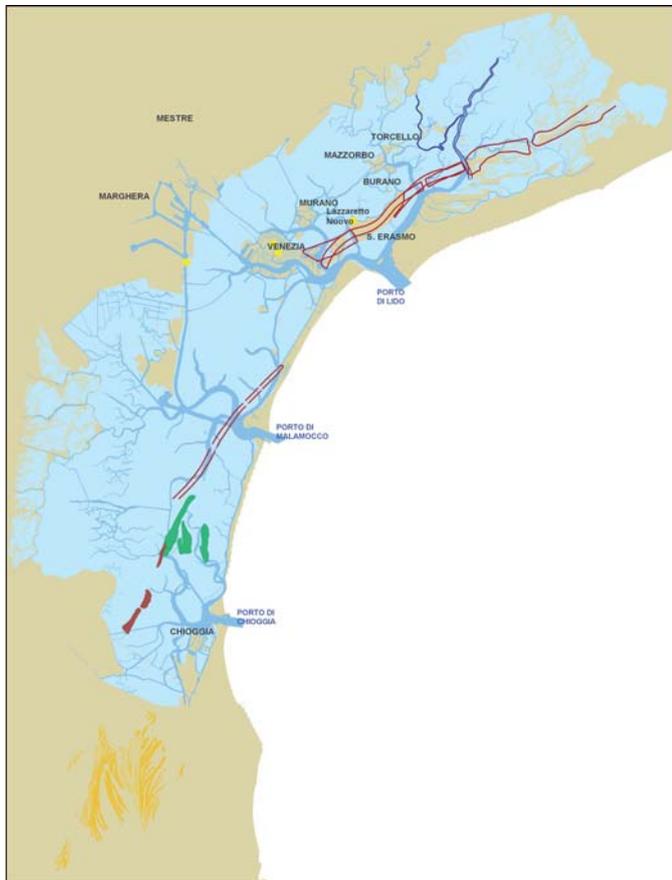


Figura 2 – Le variazioni ambientali e il popolamento nel tardo neolitico-eneolitico (Elaborazione Furlanetto P. e Bertani B.).

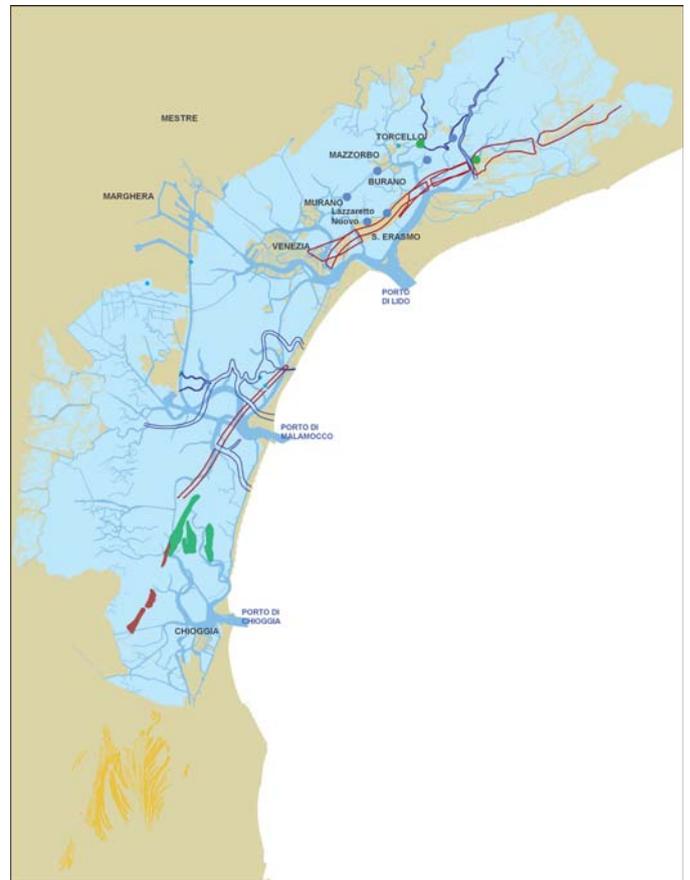


Figura 3 – Le variazioni ambientali e il popolamento in età del Bronzo (in verde) e del Ferro (in blu). Sono riportati gli antichi lidi e il percorso del Meduacus/Brenta (Elaborazione Furlanetto P. e Bertani B.).

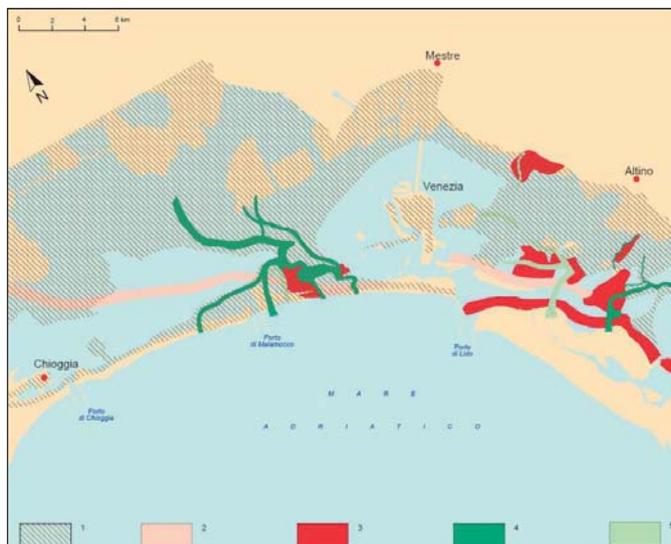
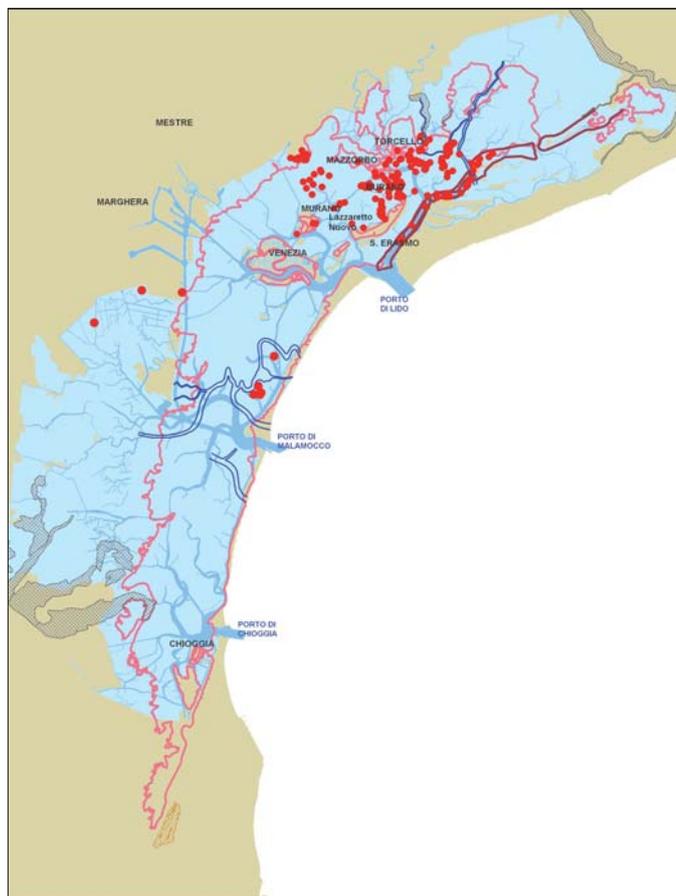


Figura 4 – Le variazioni ambientali e il popolamento in età Romana (I sec. a.C. – II sec. d.C.). La linea rosa indica il margine interno lagunare sulla base della georeferenziazione e restituzione grafica delle carte storiche del XVI secolo e le antiche linee di costa desunte da indagini geoarcheologiche condotte da Ernesto Canal. I siti archeologici sono rappresentati dai bollini rossi (Elaborazione Furlanetto P. e Bertani B.).

Figura 5 – La laguna di Venezia in epoca antica (da Furlanetto, 2004). Legenda: 1) terre emerse; 2) linea di costa; 3) terre emerse e abitate; 4) paleovalle del Brenta e del Piave; 5) canale salso.

La documentazione archeologica dell'età del Ferro evidenzia un'occupazione in laguna concomitante soprattutto a una fase di regressione marina che gli studiosi riportano al V secolo a.C. (Canal, Cavazzoni, 2001). I dati disponibili rivelano l'esistenza di due grandi comprensori terrestri, gestiti rispettivamente da Padova e Altino, che estendono la loro influenza sulla laguna e su importanti rotte endolagunari e marittime. Padova sembra controllare il territorio centro-meridionale e probabilmente attraverso un fiume, forse identificabile nel *Meduacus* citato da Livio e Strabone, "gestiva" il santuario di Lova e dirigeva un traffico endolagunare e marittimo che si snodava, attraverso il canal Chornio e il canal Mazor, per S. Leonardo in Fossa Mala fino a Malamocco dove è stato individuato il probabile porto ricordato da Strabone. Ai margini della laguna era invece situato Altino, a controllo di un'area che si estendeva fino a nord di Treviso (Furlanetto, 1984; 1994; 1998) e comprendeva gran parte della laguna settentrionale. Vie d'acqua la delimitavano e defluivano in laguna attraverso due possibili direttrici. Il canale di S. Maria, dove è localizzato un importante santuario-emporio databile a partire dal V secolo a.C. (Tirelli, Cipriano, 2001), sembra proseguire in un percorso, scandito dal ritrovamento di ceramica attica (V-IV a.C.) e di prodotti d'importazione da area etrusca e centro italiana, che scorreva nei pressi di Mazzorbo, Torcello, S. Tommaso dei Borgognoni, S. Giacomo in Paludo fino alle

Vignole e a S. Erasmo dove è stata identificata un'antica linea di costa (Canal, 1998). Da Altino, lungo il Sil vecchio e la Dossa il fiume confluiva nel canale di Burano e si dirigeva verso Tre Porti dove è possibile localizzare la sua uscita a mare e ipotizzare la presenza di antichi cordoni litoranei nonché la presenza di un'antica bocca portuale (Canal, 1998). La chiusura della via endolagunare per San Leonardo in Fossa Mala e la chiusura temporanea di Malamocco, documentata dal III secolo a.C. è determinata probabilmente da una fase di ingressione marina e conseguente sommersione di parte della laguna. Alla fine dell'età del Ferro (II-I secolo a.C.) una veloce fase trasgressiva è confermata, nei pressi di Ca' Tron, dallo spostamento, in posizione più arretrata rispetto al margine lagunare invaso dalle acque, di un tratto della via Annia, strada consolare, stesa da Adria a Aquileia nel 133 o 131 a.C.

Profonde trasformazioni ambientali sono documentate a partire dal I secolo a.C. in terraferma e in laguna, quando ha inizio una fase di regressione marina che ha come inevitabile conseguenza l'abbassamento del livello marino e la progressiva emersione di intere aree lagunari (DORIGO, 1983; 1994; BONARDI *et al.*, 1998; Canal, Cavazzoni, 2001; Alberotanza *et al.*, 1977; Furlanetto 2004; Canal, 2004). Alla fine del I secolo a.C. la documentazione archeologica rivela una laguna parzialmente emersa: il margine lagunare interno è più avanzato rispetto all'attuale;

risultano emerse e densamente abitate aree, ora barenose, nei pressi del canale Bondante, a Fusina, l'area di Sacca delle Case, nei pressi di Tessera e la zona, attualmente barenosa, di Ca' Zane-Ronchi, a sud del Taglio del Sile e i lidi sono più avanzati rispetto a quelli dell'età del Ferro (Fig. 4). L'area compresa tra Torcello e Burano doveva essere completamente emersa, probabilmente coltivata, ma non abitata stabilmente (CANAL, 1998).

Recenti indagini di superficie non sistematiche, condotte da appassionati e gruppi archeologici locali, sembrano confermare che anche l'area attualmente occupata dalle valli dell'Averto, Figheri, Pierimpì, Millecampi, e Morosina, era probabilmente emersa. La probabile estensione della laguna in epoca antica è riportata nella Fig. 5, rielaborata da un originale di Ernesto Canal (Furlanetto, 2004).

A partire dalla fine del II-III secolo d.C. sono documentate le prime tracce della risalita dell'acqua in laguna e nel territorio di gronda: i fiumi, come il ramo del Piave di Cittanova, vengono sottoposti a nuove opere di regimazione; l'iscrizione rinvenuta ad Aquileia che ricorda "un imperatore romano rimasto senza nome che fece restaurare la via Annia, abbandonata da lungo tempo e rovinata dalle acque palustri che l'invadevano" rimanda alla via, parallela al margine lagunare sottoposta ad opere di riassetto. Ma sono soprattutto i siti lagunari, seriamente minacciati dal progressivo innalzamento del livello marino, a mostrare i segni inequivocabili di interventi; sempre più necessari, come la costruzioni degli argini-strada, che radiodazioni riferiscono al II-III secolo d.C., come il rialzamento di 40 cm della strada nei pressi di Tessera a Sacca delle Case o come i rari tentativi di rialzamento del terreno accertati da CANAL (1998), ultimo, estremo gesto di opporsi alla ormai inarrestabile risalita dell'acqua. Ten-



Figura 6 – Le variazioni ambientali e il popolamento in età tardo Romana (III sec. a.C.– IV sec. d.C.; elaborazione Furlanetto P. e Bertani B.).

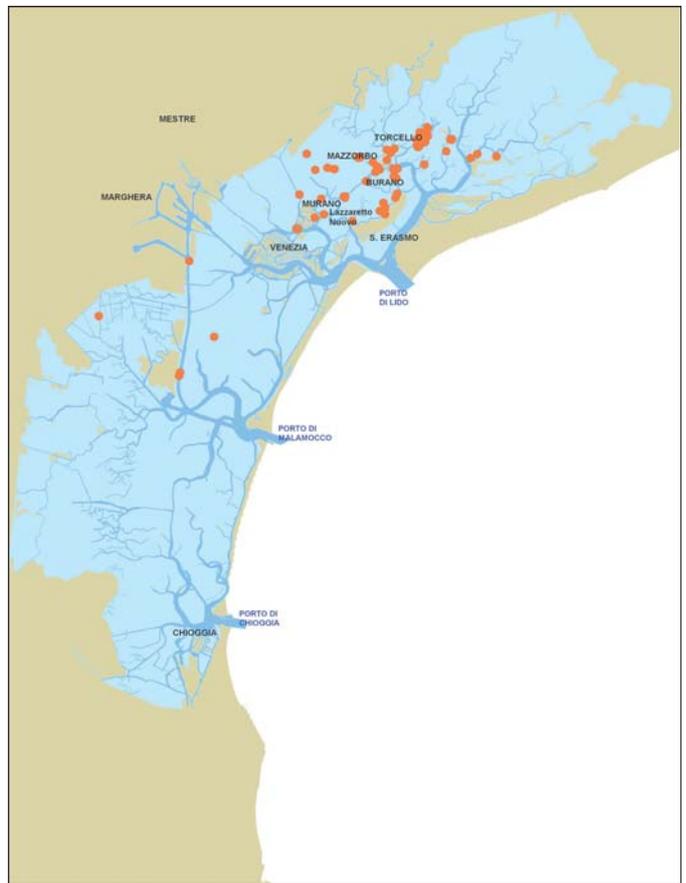


Figura 7 – Le variazioni ambientali e il popolamento antico all'Età Medievale (VII–XIV sec. d.C.; elaborazione Furlanetto P. e Bertani B.).

tativi comunque necessari quanto inutili, se nel IV-V secolo d.C. l'avvenuta sommersione di gran parte della Laguna costringerà i suoi abitanti all'abbandono definitivo dei siti, ultimo drammatico atto della storia della Laguna in epoca romana.

La lunga età medioevale, documentata soprattutto da fonti archivistiche e archeologiche, vede una laguna ancora periodicamente interessata dall'alternanza di fasi trasgressive e regressive.

I dati geoarcheologici rivelano l'esistenza in età antica di una laguna estremamente dinamica sotto il profilo geomorfologico e antropico, con un bacino ristretto rispetto all'attuale e una linea di lidi arretrata, che alterna fasi regressive caratterizzate da terre emerse sempre più fittamente insediate, a fasi di ingressione marina con conseguente sommersione parziale e rarefazione antropica. Nel tempo si sono quindi succedute varie fasi di spostamento della linea di costa con variazioni anche importanti dell'estensione della Laguna e della posizione delle terre emerse. La colossale opera di allontanamento dei fiumi dalla laguna nel XVI e XVII secolo ha contribuito a generare profondi mutamenti della geografia lagunare ai quali si sono adattati gli abitanti, mentre in tempi a noi più vicini le opere di bonifica, l'escavo dei canali, la realizzazione di barene artificiali e gli interventi sui litorali hanno alterato in modo eclatante dinamiche e morfologie lagu-

nari, innescando processi erosivi che hanno distrutto o stanno portando a distruzione gran parte del patrimonio archeologico lagunare.

L'erosione è un fenomeno presente e già ben conosciuto in antiquo; molteplici le misure messe in atto per contrastarlo come rivelano, tra le altre, le strutture di epoca alto medioevale, rinvenute a protezione di rive e complessi monumentali a San Leonardo in Fossa Mala, San Marco in Bocca Lama e Motta S. Lorenzo. Due murature di contenimento documentate sulla sponda nord della Motta di San Lorenzo (Canal, 1995, tav. 4, p.114) e una arginatura lineare a L accertata ad est del complesso monasteriale di S. Leonardo in Fossa Mala (Fersuoch, 1998), costituiscono le soluzioni atte a contrastare processi erosivi innescati da venti di bora e ingressione marina e proteggere le fondazioni degli edifici più importanti. Un intervento del tutto originale riguarda l'isola di San Marco in Bocca Lama, recentemente oggetto di un ardito scavo archeologico (AA.VV., 2002).

Riduzione della superficie originaria in 7 decenni di circa 100 m verso ovest e di 85 a sud e 40 verso nord; aree prossime alla linea di riva e precedentemente occupate da orti, vigne e alberi, sommerse: così i documenti archivistici descrivono la drammatica situazione dell'isola e del monastero agli inizi del 1300, minacciati da un inarrestabile processo erosivo e da una fase di trasgressione marina. Un recente scavo archeologico ha

messo in luce due imbarcazioni, galee o rascone, svuotate e smantellate, utilizzate come casseri di fondazione e posizionate lungo il fronte ovest del monastero; affiancate da un'opera di arginatura lunga 30 m realizzata con tavole parallele bloccate da pali, colmata con materiale di risulta all'interno e orientata in senso nord-sud. Un'intervento originale che viene messo in relazione alla sentenza di alcuni anni prima dei Giudici del Piovego che concedono al priore di San Marco di estendere il perimetro dell'isola, eroso e sommerso, per 50 passi, circa 90 m, per ampliare così il sedime dell'insediamento corroso dall'acqua e consolidarne i nuovi argini (Fig. 8). Inarrestabile comunque si rivela il processo di erosione e della risalita dell'acqua e l'intervento non produce l'effetto sperato se nel 1348 l'insediamento monastico è ormai abbandonato e l'isola viene utilizzata per dare sepoltura ai morti della peste, i cui resti emergono ancor oggi in occasione di basse maree eccezionali (Canal, 1998, p.193). La storia dell'isola e della sua scomparsa è ben documentata dalla cartografia storica: viene ancora rappresentata in una carta del 1540, ma copia di un originale del 1400 (ASVE, SEA Laguna 5), ma già nelle carte databili a partire dalla metà del 1500 viene segnata come *motta* (isolotto) *persa* o *S. Marco de Lama destruta* (ASVE, SEA Laguna 77).

Medesima sorte subirà il complesso di San Leonardo in Fossa Mala.



Figura 8 – Le due galee in corso di scavo (da AA.VV., 2002).

La sovrapposizione e il confronto tra la carta dei fenomeni di erosione e di sedimentazione in laguna elaborata dal Servizio Informativo del Consorzio Venezia Nuova (Datei, Mossutti, 2010) e le carte sincroniche mettono in evi-

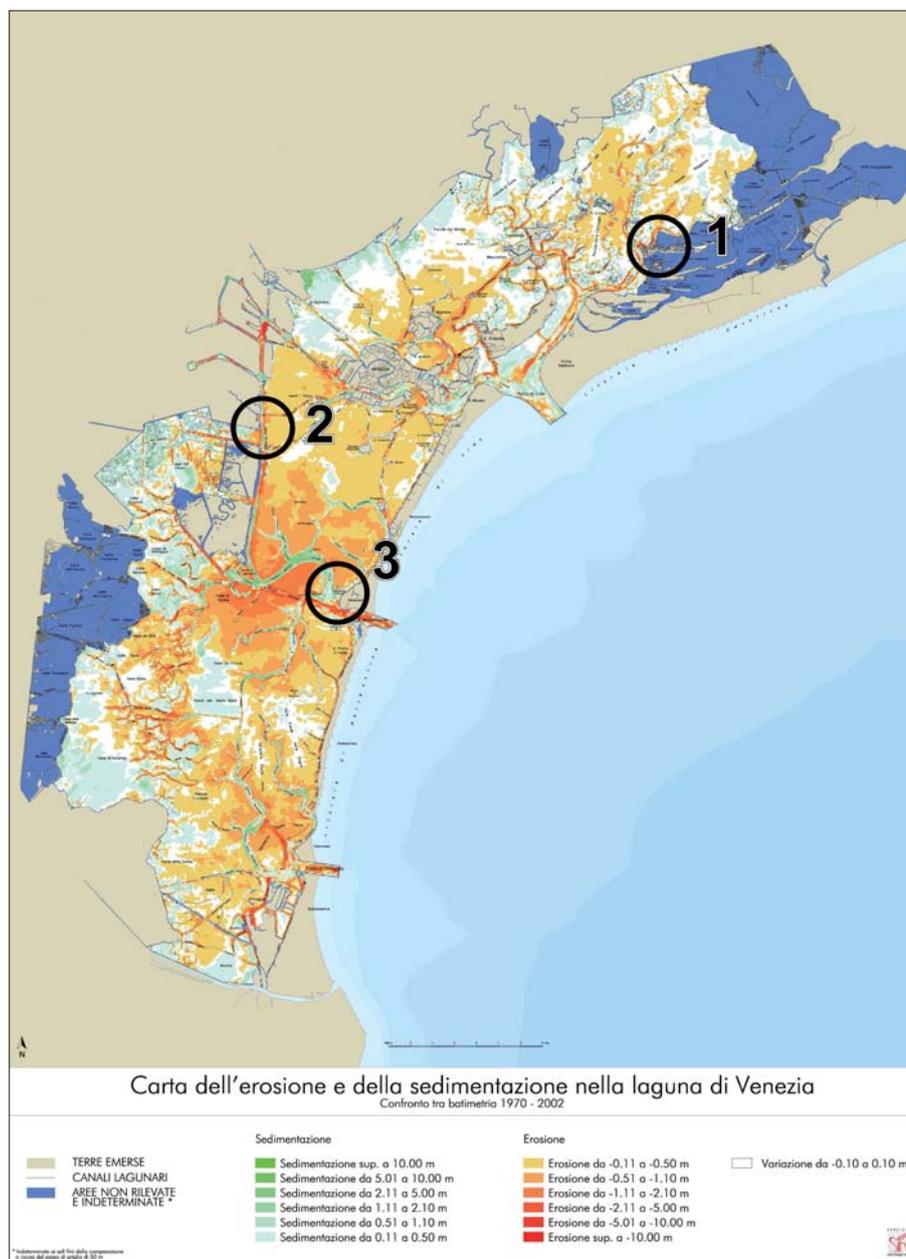


Figura 9 – I siti di Lio Piccolo (1), San Leonardo in Fossa Mala (2) e Ottagono Abbandonato (3) nella carta dei fenomeni di erosione e sedimentazione in Laguna (DATEI, MOSSUTTI, 2010).

denza le aree archeologiche a più forte rischio erosivo: le aree costiere con gli antichi lidi di epoca preromana e romana, le aree abitate in epoca antica ora interne al bacino lagunare e sommerse, e le aree barenicole, in antico emerse ed abitate, prossime al margine interno la-

gunare attuale e “tagliate” negli anni 60 dalla costruzione del Canale dei Petroli.

In questa sede vengono presentati tre casi di studio esemplari per localizzazione, cause e conseguenze dei processi erosivi: Lio Piccolo e l'Ottagono Abbandonato in prossimità di antichi lidi, San Leonardo in Fossa Mala nei pressi del margine interno attuale. L'ottagono rappresenta il caso di erosione sub aerea, Lio Piccolo l'inclinazione delle strutture in un caso e la distruzione totale del sito archeologico nell'altro; San Leonardo l'esempio eclatante di ritrovamento e distruzione ad opera “inconsapevole” dell'uomo.

Lio Piccolo - Il moto ondoso risulta essere il principale responsabile della distruzione pressoché completa di un edificio di epoca romana accertata a Lio Piccolo: nel 1985 Canal rilevò i resti di una probabile *villa maritima* che in una decina d'anni vennero distrutti dall'erosione.



Figura 10 – Il piano pavimentale della “villa maritima” rinvenuta a Lio Piccolo oggi distrutto (foto Canal).

San Leonardo in Fossa Mala - Nel 1966 Lo scavo della fossa-canale del Canale dei Petroli-Malamocco “venne fatalmente a cadere al centro dell'insediamento monasteriale di San Leonardo in Fossa Mala” (Fersuoch, 1995, p. 34), rivelando l'ubicazione dello straordinario complesso monastico noto fino ad allora solo da fonti archivistiche e cartografiche medievali. Nell'arco di un ventennio (1966- 1982) furono 13 le strutture che gli archeologi Fersuoch e Canal riuscirono a vedere ed identificare, liberate via via dalle onde provocate dal passaggio di grandi navi, ma la costante erosione prodotta dal moto ondoso se da una parte contribuì a portare progressivamente alla luce le strutture, dall'altra fu la causa diretta della loro completa distruzione.

Il moto ondoso determinò l'erosione della velma ai margini del canale con conseguenti



Figura 11 – Resti archeologici intaccati e distrutti dal Canale dei Petroli-Malamocco (foto Canal).

fenomeni di cedimento degli orizzonti limosi e di scivolamento delle strutture verso il fondale della palude (fino a 4 m di profondità) con la stessa dinamica riscontrabile in molti altri siti, da Motta San Lorenzo a S. Giacomo in Palude (Canal, Cavazzoni, 2001), allo stesso Lio Piccolo dove gli scavi ha rilevato fondazioni e piano di calpestio inclinate verso il canale di 8 gradi (D'Agostino, Medas, 2006, Fig. 12).



Figura 12 – Strutture inclinate verso il canale a Lio Piccolo (foto Marco d'Agostino, Magistrato alle Acque-Consorzio Venezia Nuova).

L'Ottagono - L'Ottagono è un'isola artificiale che poggia su un'antica linea di costa che si sviluppava lungo la direttrice Monte Cucco-Isola Val Grandia; realizzata per scopi militari nel 1572, divenne sede di un forte di cui si conservano ora solo parte delle mura difensive, ora pesantemente intaccate da erosione subaerea. Fu costruito con uno strato di riporto di argilla di almeno 1,50 m di spessore, sopra al quale si edificò il terrapieno difensivo (altezza m 3) con materiale quasi sicuramente proveniente dallo scavo del canale prossimo alla struttura e che ha probabilmente intaccato strati archeologici di epoca romana, come sembra indicare la straordinaria presenza di reperti negli strati compresi tra 0,70 e +1 sul l.m.m. (CANAL, 1998).



Figura 13 - In alto: vista aerea dell'Ottagono abbandonato, nei pressi dell'antico porto del Meduacus/Brenta; in basso: fenomeni erosivi sul lato orientale dell'Ottagono abbandonato (da BONDESAN, MENEGHEL, 2004).

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTOTANZA L., SERANDREI BARBERO R. & FAVERO V. (1977), *I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (bacino settentrionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 96, 243-269.
- BIANCHIN CITTON E. (1994), *Elementi preliminari di conoscenza della frequentazione del territorio veneziano in età preistorica*. In: SCARFI B.M. (a cura di), *Venetia et Histria, Studi in memoria di Michele Tombolani*, «L'erma» di Bretschneider, Roma, 23-32.
- BIANCHIN CITTON E. (1999), *Il Veneto orientale tra l'età del bronzo medio-recente e la prima età del ferro*. In: *Protostoria e storia del Venetorum Angulus*, Atti del XX convegno di Studi Etruschi e Italici, Oeschli, Firenze, 31-46.
- BONARDI M., CANAL E. & CAVAZZONI S. (1998), *Studio dei processi evolutivi di alcune barene della laguna di Venezia in relazione alle variazioni del livello marino, Indagine geoarcheologica*. CNR-ISDGM, Venezia.
- BONDESAN A., MENEGHEL M., ROSSELLI R., VITTURI A. (a cura di) (2009), *Le unità geologiche della Provincia di Venezia, Caselle di Sommacampagna*, Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 184 pp.
- BROGLIO, V. FAVERO, S. MARSALE (1980), *Ritrovamenti mesolitici attorno alla laguna di Venezia*. In: *Rapporti e studi*, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed arti, X, pp. 195- 231.
- BONDESAN A., MENEGHEL M., (a cura di) (2004), *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 516 pp.
- BONDESAN A., FURLANETTO P. (in stampa), *The Artificial Fluvial Diversions in the Mainland of the Lagoon of Venice during the XVI and XVII Centuries inferred by historical cartography analysis*. In: *Geomorfologie*.
- BROGLIO A., FAVERO V., MARSALE S. (1987), *Ritrovamenti mesolitici attorno alla laguna di Venezia*. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia. Venezia, Rapporti e Studi, 10, 195-231.
- CANAL E. (1995), *Le Venezie sommerse: quarant'anni di archeologia lagunare*. In: CANIATO G., TURRI E. & ZANETTI M. (a cura di), *La laguna di Venezia*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 193-226.
- CANAL E. (1998), *Testimonianze archeologiche nella Laguna di Venezia - L'età antica*. Edizioni del Vento, Venezia, 91 pp.
- CANAL E. (2004), *Per una Venezia prima di Venezia: per una Carta Archeologica della laguna di Venezia*. In: BONDESAN A., MENEGHEL M., *Geomorfologia della provincia di Venezia*, Esedra, Padova, 363-366.
- CANAL E. & CAVAZZONI S. (2001), *Variazione dei livelli marini nella laguna di Venezia dedotti dai dati archeologici*. In: *Quaderni di Archeologia del polesine*, II, Linea AGS, Stanghella, Padova, 122-131.
- DATEI S., MONSUTTI G., (a cura di) (2010), *Il Servizio Informativo. Conoscenza e gestione del territorio come risorsa condivisa*. Quaderni del Magistrato alle Acque di Venezia, Marsilio, Venezia, pp. 139.
- D'AGOSTINO M., MEDAS S. (2006), *Lio Piccolo. I romani in Laguna*. Archeologia Viva, XXV, 115, gennaio-febbraio 2006, 49-57.
- DI FILIPPO BALESTRAZZI E. (2000), *Tre frammenti micenei da Torcello*. Hesperia, X, 203-223.
- DORIGO W. (1983), *Venezia. Origini, ipotesi e ricerche sulla formazione della città*. Electa Fantoni Grafica, Venezia, 1-2-3, 775 pp.
- DORIGO W. (1994), *Venezie sepolte nella terra del Piave: Duemila anni fa fra il dolce e il salso*. Viella, Roma, 440 pp.
- FAVARETTO I. (1982), *Ceramica greca, italiota e etrusca del Museo Provinciale di Torcello*, Giorgio Bretschneider, Roma.
- FAVERO V., SERANDREI BARBERO E. (1980), *Origine ed evoluzione della laguna di Venezia - Bacino meridionale*. Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali, 5, 49-71.
- FAVERO V., & SERANDREI BARBERO E. (1983), *Oscillazioni del livello del mare ed evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area compresa tra Torcello e il margine lagunare*. Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali, 8, 83-102.
- FERSUOCH L. (1995), *S. Leonardo in Fossa Mala e altre fondazioni medievali lagunari*. Restituzione territoriale, storica e archeologica, Jouvence, Venezia, 113 pp.
- FURLANETTO P. (1984), *Treviso*. In: *Misurare la terra. Centuriazione e coloni nel mondo romano: il caso veneto*, Modena, 172-177.
- FURLANETTO P. (1994), *Dai paleoveneti all'età romana*. In: CANIATO G. (a cura di), *Narvesa all'alba del secondo millennio*. Cierre Edizioni, Sommacampagna di Verona, 25-37.
- FURLANETTO P. (1998), *Silis ex montibus tarvisanis*. In: BONDESAN A., CANIATO G., VALLERANI F. & ZANETTI M. (a cura di), *Il Sile*. Cierre, Sommacampagna di Verona, 66-85.
- FURLANETTO P. (2004), *Il popolamento pre-romano e romano nel territorio della provincia di Venezia*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 178-192.
- FURLANETTO P. & PRIMON S. (2004), *La cartografia storica*. In: BONDESAN A. & MENEGHEL M. (a cura di), *Geomorfologia della provincia di Venezia*. Esedra, Padova, 73-77.
- FURLANETTO P. ET AL. (2004): FURLANETTO P., BONDESAN A., ROSSELLI R., PACQUOLA S. & RASADOR A., *Progetto Imago: La banca dati della cartografia storica della laguna di Venezia realizzata dal Magistrato alle Acque*. Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, 14÷17 dicembre, Roma, 1005-1110.
- FURLANETTO P. ET AL. (2009): FURLANETTO P., BONDESAN A., LEVORATO C., ROSSELLI R. & BERTANI B., *Progetto Imago: La ricostruzione della laguna e dell'entroterra veneziano attraverso l'impiego della cartografia storica*, Atti 13° Conferenza Nazionale ASITA, 1÷4 dicembre, Fiera del Levante, Bari, Poster.
- FURLANETTO P., BONDESAN A. (in stampa), *Il "Progetto Imago"*. In: VITTURI A. (a cura di), *Atlante geologico della Provincia di Venezia. Note illustrative*.
- FURLANETTO P. (in stampa, a), *Profilo storico*. In: *Atlante geologico della Provincia di Venezia. Note illustrative*.
- FURLANETTO P. (in stampa, b), *Geoarcheologia*. In: *Atlante geologico della Provincia di Venezia. Note illustrative*.
- FURLANETTO P. (in stampa, c), *Carta delle unità di paesaggio geo archeologico della Provincia di Venezia*, Venezia.
- MALIZIA A. (1985), *La raccolta paleontologica del Museo Archeologico di Altino (Venezia)*. Archeologia Veneta, VIII, 125-148.
- MARSALE S. (1991), *Note su un ritrovamenti del Mesolitico della gronda lagunare veneziana*. Società Veneziana di Storia Naturale, 16, 217-224.
- ROSSIGNOLI B. (2003), *I greci in laguna. Per un inventario dei reperti archeologici*. Hesperia, 17, 275-281.
- SERANDREI BARBERO R. ET AL. (2001), SERANDREI BARBERO R., LEZZIERO A., ALBANI A. & ZOPPI U. (2001), *Depositi tardo-pleistocenici ed olocenici nel sottosuolo veneziano: paleoambienti e cronologia*. Il Quaternario (14), 1, 9-22.
- TIRELLI M., CIPRIANO S. (2001), *Il santuario altinate in località Fornace*. In: CRESCI MARRONE G., TIRELLI M. (a cura di) (2001), *Orizzonti del sacro. Culti e santuari antichi in Altino e nel Veneto orientale*. Atti del convegno, Venezia S. Sebastiano, 2÷3.12.1999, Quasar, Roma, 326 pp.
- TOMBOLANI M. (1985), *Altino preromana*. In: TOMBOLANI M., SCARFI B.M., *Altino preromana e romana*, Quarto d'Altino, 51-68.
- URBANI DE GHELTOF G. (1880-1881), *Preistoria di Venezia*. Bullettino di arti, industrie e curiosità veneziane, 132-144.

CONVEGNO ORGANIZZATO DA:

CNR-Consiglio Nazionale delle Ricerche, SIGEA-Società Italiana di Geologia Ambientale, UGI-Unione Geotermica Italiana

Il possibile contributo della geotermia di alta temperatura per la produzione di energia elettrica in Italia fino al 2050 con l'uso di tecnologie innovative

Roma, 8 Giugno 2012

c/o CNR-Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sala "Marconi"

Piazzale Aldo Moro n. 7 - ore 9,00-13,30

Ingresso gratuito. Saranno rilasciati attestati di partecipazione e richiesti i crediti APC per i geologi ed altre categorie professionali

Presentazione del Convegno

Il costo crescente dei combustibili fossili, le sempre maggiori difficoltà per il loro reperimento e gli effetti negativi da essi prodotti sull'economia, sulla stabilità politica e sul riscaldamento globale, richiedono uno sforzo delle istituzioni e degli esperti per vedere quale contributo le fonti rinnovabili potrebbero dare entro il 2050 alla copertura dei consumi di energia in Italia, in sostituzione di una parte significativa dell'energia ottenuta da carbone, gas e petrolio. In particolare, sarebbe opportuno conoscere quale ruolo potrebbe giocare la geotermia entro quell'anno se si potesse procedere al suo accelerato sviluppo per produrre energia elettrica con tecnologie consolidate e con altre innovative oggi allo studio, nonché per gli usi diretti in forma di calore.

La frazione di energia fornita nel 2010 dal calore della Terra per tutti i suoi usi è stata solo lo 0,70% dei 185 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio consumati complessivamente nel nostro Paese per usi energetici: 0,57% per produrre energia elettrica, ed il resto per usi diretti. Si tratta quindi di una frazione di sfruttamento molto modesta se rapportata ai 21 exajoules (corrispondenti a circa 500×10^6 TEP) di risorse geotermiche potenzialmente estraibili fino a 5 km di profondità su cui l'Italia può contare, soprattutto per usi diretti di media e bassa temperatura.

Come si evince dal titolo, però, il Convegno non vuole coprire tutto lo spettro delle possibili applicazioni della geotermia fino al 2050, ma intende dare un primo contributo alla discussione sul ruolo che il calore terrestre di alta temperatura potrebbe assumere per la produzione di energia elettrica con tecnologie innovative applicate allo sfruttamento di tutti o di alcuni dei così detti **sistemi geotermici non convenzionali**: *sistemi magmatici, sistemi a "rocce calde secche" (HDR/EGS), fluidi supercritici, sistemi geopressurizzati, e sistemi a salamoia calda.*

Il Convegno si propone quindi di far discutere gli esperti del settore con i produttori di elettricità, con le associazioni tecnico-scientifiche ed ambientaliste, e con i cittadini interessati, la possibilità di aumentare in quantità significativa nei prossimi decenni la percentuale complessiva attuale della geotermia (0,70%, come detto sopra), ed in particolare la sua frazione geotermoelettrica, che ha rappresentato nel 2010 circa l'1,7 % dell'energia elettrica totale consumata in Italia.

Lo sviluppo del calore terrestre come fonte sostenibile di energia, potrebbe dare un notevole contributo alla crescita economica di un Paese povero di materie prime come il nostro, specialmente in un periodo di crisi come quello attuale, nel quale, tra l'altro, con il referendum del Giugno 2011, è stato deciso di abbandonare l'opzione nucleare.

Studi recenti e ricerche svolte nel mondo negli ultimi decenni per cercare di superare le limitazioni oggi esistenti nello sfruttamento del calore geotermico di alta temperatura per la produzione di energia elettrica, sembrano offrire nuove soluzioni progettuali con l'uso di tecnologie innovative, di possibile grande interesse.

Di conseguenza, partendo dallo stato di sviluppo attuale della geotermia e dalle stime di crescita già fatte fino al 2030, verranno illustrate nel Convegno le principali possibili nuove tecnologie per il loro sfruttamento a fini geotermoelettrici, che si spera possano portare la geotermia di alta temperatura a ricoprire entro il 2050, nello scenario energetico nazionale, un ruolo molto più importante di quello avuto fino ad oggi. Saranno infine presentate e discusse le attività di R&S proposte per sviluppare i sistemi geotermici non convenzionali.

Programma provvisorio*

9,00-9,30: Introduzione del moderatore ed interventi di saluto (Presidenti del CNR, SIGEA, UGI, del Direttore Generale dell'UNMIG e altre autorità)
9,30-10,00: R. Cataldi-W. Grassi-G. Passaleva (UGI) – *Stato attuale e previsioni di crescita della geotermia in Italia fino al 2030, con particolare riguardo allo sviluppo dei "sistemi geotermici non convenzionali"*

10,00-10,30: A. Manzella (CNR/IGG) – *Cosa sono i "sistemi geotermici non convenzionali" ed a quale stadio di sviluppo si trovano*

10,30-11,00: S. D'Offizi. *Il progetto DS-HDR (Deep Shaft-Hot Dry Rock) per rendere alternativa la geotermia ad alta entalpia*

11,00-11,30: G. De Natale, C. Troise (INGV-Osservatorio Vesuviano, Napoli) – *L'International Deep Drilling Project dei Campi Flegrei nel quadro della "Assoknowledge Technological Platform" (settore geotermia)*

11,30-12,00: A. Battistelli (SAIPEM SpA) – *Produzione combinata di idrocarburi e calore geotermico da sistemi geopressurizzati*

12,00-12,30: E. Bonatti (CNR/Istituto di Geologia Marina, Bologna) – *Sistemi geotermici sottomarini negli oceani e nel Tirreno.*

12,30-13,15: Idee per predisporre lo sviluppo dei "sistemi geotermici non convenzionali". Segue dibattito

13,15-13,30: Considerazioni conclusive e chiusura del Convegno

* I titoli delle comunicazioni indicate sono provvisori (quelli definitivi saranno forniti dagli autori). Sono anche provvisori i nomi di alcuni autori. I relatori delle varie comunicazioni, quando la nota è firmata da più autori, saranno precisati successivamente.

Patrocini da richiedere

Ministeri dell'Ambiente, dell'Industria e dell'Università, Consiglio Nazionale dei Geologi, Ordine Nazionale degli Ingegneri, ENEL, ENI, Edison, E.On, ISPRA, Regione Lazio, Regione Toscana, Forum Energia, Legambiente, Greenpeace Italia, WWF Italia

Bari - Italy, 24-28 September 2012

Geoheritage: Protecting and Sharing

7th International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage
3rd Regional Meeting of the ProGEO SW Europe Working Group

The Italian Society of Environmental Geology (SIGEA) and the European Association for the Conservation of the Geological Heritage (ProGEO) organise the 7th International Symposium on the Conservation of the Geological Heritage. The Symposium will take place in Bari (Apulia, Italy) on September 25-26 2012, and will be held at the Sala Murat, Piazza del Ferrarese. It will be preceded by one day field-trips (two choices on September 24) and will be followed by a two days field-trip (on 27-28 September).

SESSION THEMES

Geosites, Geological Heritage and Land-use planning, Geoparks and Geotourism, Cooperation and Education

SYMPOSIUM LANGUAGE

The official language is English

SYMPOSIUM SECRETARIAT

info@geoheritagesymposium-bari2012.org

DEADLINE

Camera ready abstracts must be submitted before April 30th 2012. For registration and fees please visit the Symposium web site

www.geoheritagesymposium-bari2012.org



Supported by