

# Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA  
Società Italiana di Geologia Ambientale



## 1/2018

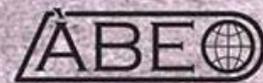
ISSN 1591-5352

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



# La Bonifica dei Siti Inquinati

Roma, 21, 22 e 23 marzo 2018



*Sono previsti crediti APC CNG  
24 crediti per la frequenza + crediti aggiuntivi  
per la verifica finale riconosciuti dal CNG*

Il corso, della durata di 24 ore, si propone di informare e aggiornare i partecipanti sulla procedura della bonifica dei siti inquinati, secondo un approccio pratico/applicativo: dopo una introduzione inerente la normativa nazionale, saranno evidenziati gli aspetti relativi alla caratterizzazione e bonifica/messa in sicurezza d'emergenza dei siti sia a livello regionale che nazionale (SIN), illustrando con casi di studio le esperienze dei docenti in diversi contesti

## DOCENTI

Esperti appartenenti a enti pubblici e privati

## DIREZIONE SCIENTIFICA

Dr. ing. Marco GIANGRASSO - ISPRA

## COORDINAMENTO DIDATTICO DEL CORSO

Dr. geol. Daniele BALDI (bsi@sigeaweb.it)

## QUOTA DI PARTECIPAZIONE

250 € IVA esente (10 % di sconto per i soci SIGEA e gli iscritti all'Ordine dei Geologi). È previsto un numero massimo di 35 partecipanti

## CREDITI FORMATIVI

Sono richiesti 48 (24 + 24) crediti APC per i geologi al Consiglio Nazionale dei Geologi (cod. evento 5-2018)

Per informazioni scrivere a [bsi@sigeaweb.it](mailto:bsi@sigeaweb.it) – Per iscrizioni visitare [www.formazione.abeo.it](http://www.formazione.abeo.it)



Organizzano il convegno

## Il patrimonio geologico: dallo studio di base al geoturismo sostenibile

Teatro Comunale, Sasso di Castalda (Pt)

26 e 27 aprile 2018

Info:

Mail: [patrimonio.geologico@unibas.it](mailto:patrimonio.geologico@unibas.it) - Fax: 0971 205678 - Tel: 0971 205834

Per iscrizioni visitare <http://oldwww.unibas.it/patrimoniogeologico/index.html>

### AVVISO DI PAGAMENTO DELLA QUOTA SOCIALE 2017

Il Consiglio Direttivo ha confermato anche per il 2018 la quota associativa di 30 euro da versare entro il 31 marzo con le seguenti modalità:

- versamento su conto corrente postale n. **86235009**

- bonifico bancario o postale, codice IBAN: **IT 87 N 07601 03200000086235009** (Banco Posta) intestato a: Sigea, Roma, riportando i dati del socio iscritto e la causale del versamento.

## Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

PRESIDENTE  
**Antonello Fiore**

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE  
Danilo Belli, Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (*Segretario*), Daria Duranti (*Vicepresidente*), Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento, Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti (*Presidente onorario*), Gioacchino Lena (*Vicepresidente*), Luciano Masciocco, Michele Orifici, Vincent Ottaviani (*Tesoriere*), Angelo Sanzò, Livia Soliani

**Geologia dell'Ambiente**  
Periodico trimestrale della SIGEA

N. 1/2018

Anno XXVI - gennaio-marzo 2018

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

DIRETTORE RESPONSABILE  
**Giuseppe Gisotti**

COMITATO SCIENTIFICO  
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giancarlo Bortolami, Giovanni Bruno, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Gioacchino Lena, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro

COMITATO DI REDAZIONE  
Fatima Alagna, Federico Boccalaro, Giorgio Cardinali, Francesco Cancellieri, Valeria De Gennaro, Fabio Garbin, Gioacchino Lena, Maurizio Scardella

REDAZIONE  
SIGEA: tel. 06 5943344  
Casella Postale 2449 U.P. Roma 158  
[info@sigeaweb.it](mailto:info@sigeaweb.it)

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

UFFICIO GRAFICO  
**Pino Zarbo** (Fralerighe Book Farm)  
[www.fralerighe.it](http://www.fralerighe.it)

PUBBLICITÀ  
SIGEA

STAMPA  
Tipolitografia Acropoli, Alatri - FR

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2018 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente". Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)

# Sommario

Editoriale ANTONELLO FIORE	2
La gestione del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale: una risorsa strategica condivisa GIUSEPPE SAPPÀ, MATTEO ROSSI, ADRIANO DE VITO	3
Lo stato dell'irrigazione in Italia MARIA LUISA FELICI	14
Località Pastella del Comune di Sestri Levante: ricostruzione paleoambientale sulla base di dati emersi in fase di assistenza archeologica per intervento edilizio privato MARCO DEL SOLDATO	20
Acque sotterranee e periodicità di ridotte precipitazioni in Umbria ROBERTO CHECCUCCI	25
Petra: un meraviglioso intrigo di misteri PAOLO MALAGRINÒ	27
Decreto Ministeriale con il quale permane l'individuazione della SIGEA quale associazione di protezione ambientale già riconosciuta ai sensi dell'art.13 legge 8 luglio 1986 n. 349, e s.m.i., ed inclusa nell'apposito elenco	31



A questo numero è allegato il supplemento digitale  
*Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile*  
a cura di Antonello Fiore e Vincent Ottaviani  
scaricabile all'indirizzo web [www.sigeaweb.it/supplementi.html](http://www.sigeaweb.it/supplementi.html)

**In copertina:** Chott el Jerid, Sahara tunisino

Il messaggio del Capo dello Stato Sergio Mattarella, di fine anno, ha toccato alcuni temi importanti per gli equilibri ecologici, ambientali e geologici del nostro Paese e di conseguenza per gli equilibri socio economici degli italiani: la crisi idrica, la difficoltà nel riprendere la "normalità" nelle aree colpite dai terremoti e la prevenzione sismica, le devastazioni causate dagli incendi. Sentire le parole del Capo dello Stato che elenca alcuni dei temi che la Sigea ha affrontato nel corso del 2017, attraverso numerose azioni di comunicazione ed eventi, conferma la consapevole responsabilità del nostro ruolo di associazione di protezione ambientale.

Voglio ripercorrere con voi alcune tappe dell'anno appena passato anche al fine di continuare in questa azione di sensibilizzazione della società civile e di chi a breve, a prescindere dalle promesse elettorali, potrà influire sulla nostra serenità e sul nostro benessere. Nel giugno la Sigea ha scritto al Presidente del Consiglio, ai Presidenti delle due Camere del Parlamento e al Presidente della Repubblica circa la **crisi idrica** che si stava chiaramente prospettando, per ricordare l'esigenza di azioni comuni per contenere future sofferenze agli italiani. Nella nota si è fatto presente che le nostre riflessioni nascevano dalla consapevolezza che le crisi ambientali, sociali ed economiche in tema di risorsa idrica non si possono affrontare all'ultimo momento, stagione per stagione e suggerito che le azioni da compiere devono essere, prima, analizzate nei contesti territoriali e pianificate e progettate. Le azioni da intraprendere non possono essere uniche su tutto il territorio nazionale ma devono differenziarsi tenendo conto delle caratteristiche territoriali, sociali ed economiche. Abbiamo accolto con soddisfazione la risposta di apprezzamento che il Segretario di Stato, Simone Guerrini, ci ha inviato in risposta alla nostra nota.

Siamo intervenuti con un comunicato, in occasione del **terremoto** che in agosto ha colpito l'isola di Ischia, pensando anche all'anniversario di quello di Amatrice. In quella occasione si è voluto ricordare, come è noto, che i terremoti che si susseguono nel nostro Paese, che sottraggano vite alla loro esistenza, spengono i sogni e affievoliscono le speranze alla gente che li subisce, creano ripercussioni anche a lungo termine sulla ripresa socio economica delle popolazioni locali colpite. Abbiamo sostenuto e sosteniamo che in molti casi le case che crollano per effetto dei terremoti, che uccidono bambini, donne, uomini, animali sono state costruite in aree conclamate sismiche dove è necessario svolgere indagini preventive per conoscere nel

dettaglio, sito per sito e edificio per edificio (sia pubblico che privato), gli effetti al suolo delle onde sismiche. I terremoti sono in grado di far crollare non solo una casa abusiva, ma anche una casa costruita con le previste autorizzazioni ma priva di specifiche indagini geologiche.

A settembre abbiamo commentato la drammatica situazione degli **incendi**, evidenziando come negli ultimi anni stiamo assistendo a un cambiamento del regime degli incendi che richiede un cambio di strategie nel governo del fenomeno. Abbiamo denunciato che, arrivata la stagione delle piogge, già non si parla più d'incendi e che, con senso di angoscia, questi incendi, nella maggior parte dolosi, hanno devastato i boschi italiani molti dei quali nelle aree protette. In molti casi la vegetazione colpita dal fuoco si riprenderà dopo vari anni, mentre i danni diretti alle vittime, sia esse umane che animali, sono irreparabili, come pure i danni indiretti sulla stabilità dei versanti con possibile innesco a breve e a lungo termini di dissesti idrogeologici. Anche per il settore incendi boschivi, come per il dissesto idrogeologico, il rischio sismico, le crisi ambientali quali siccità e inquinamento, per citarne solo alcune, l'unica vera tutela dei beni e delle vite umane e animali che tali roghi causano è la prevenzione.

Il 2017 per noi è stato un anno importante: il **25° anniversario della fondazione della nostra associazione**. I numerosi eventi organizzati dalla Sigea anche in collaborazione con altre associazioni e ordini professionali li troverete sul nostro sito web e sulla pagina Facebook. Si è chiuso l'anno con il Convegno nazionale *"Cavità di origine antropica, modalità d'indagine, aspetti di catalogazione, analisi delle pericolosità, monitoraggio e valorizzazione"*, organizzato in collaborazione con il Consiglio Nazionale dei Geologi e svoltosi a Roma il 1° dicembre. Siamo arrivati al Convegno di Roma attraverso un percorso che ci ha visto svolgere Convegni sullo stesso argomento a Massafra (Ta), Melfi (Pz), Genova e Orvieto (Tr), con grande successo di partecipazione.

Il 20 dicembre abbiamo firmato un **Protocollo d'intesa con l'Arma dei Carabinieri** impegnata anche sul fronte della difesa dell'ambiente e della natura tramite il Comando Unità per la Tutela Forestale, Ambientale e Agroalimentare (C.U.T.F.A.A.). La geologia ambientale e la geodiversità tra le principali attività di collaborazione tra la Sigea e i Carabinieri Forestali. Siamo certi che in questo ampio contesto di collaborazione tra Istituzioni e Associazioni, la Sigea potrà continuare a promuovere e diffondere i temi della cultura geologica.

Attività le nostre, che confermano la dinamicità culturale e propositiva della Sigea nel panorama nazionale della geologia ambientale e più in generale della promozione della cultura geologica; attività realizzate soprattutto grazie ai tanti soci che animano la Sigea a partire dai Consiglieri nazionali, dalle Sezioni regionali, dai Referenti, dai coordinatori delle aree tematiche che, con il loro entusiasmo e il loro lavoro costante, garantiscono il continuo e aggiornato dibattito sui temi della geologia ambientale.

La Sigea oggi, con il suo operare, ha dimostrato di **essere una comunità**, un gruppo di persone legate da un vincolo culturale e ideologico: condividere il sapere; approfondire i temi della geologia ambientale; coinvolgere e ascoltare chi sa più di noi e mettere a disposizione di tutti il nostro sapere. In questi 25 anni di attività la Sigea è cresciuta grazie all'esperienza di chi ha contribuito a fondare la disciplina della geologia ambientale in Italia, grazie ai tanti animatori e dirigenti del nostro sodalizio che lavorano con intelligenza e entusiasmo. La nostra associazione non è un centro di smistamento di notizie o ricerche, ma un **contenitore di scambio di riflessioni ed esperienze** adatto a contenere il dibattito professionale, accademico, amministrativo e pubblico più in generale.

A questo numero troverete associato il supplemento digitale frutto di un lavoro lungo un anno. Il titolo del volume è: *"Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile"*. Il volume affronta in una chiave integrata e attuale i vari aspetti associati alla sismicità del nostro Paese, alle conseguenze immediate e indotte causate da un terremoto. Alcuni contributi sono dedicati agli aspetti di carattere regionale. Per questo volume, curato da me e da Vincent Ottaviani, sono stati coinvolti studiosi e tecnici degli istituti di ricerca e delle istituzioni impegnati nella prevenzione e intervento a seguito di un evento sismico.

Come ogni anno vi ricordo che le tante attività in programma chiedono anche una programmazione economica ed è per questo che diventa fondamentale pagare la quota annuale nei primi mesi dell'anno; quota che il Consiglio Diretto ha voluto tenere invariata. Noi contiamo sul vostro sostegno e il vostro contributo, voi continuate a contare sulla nostra associazione che si pone come scopo quello di promuovere e diffondere la cultura geologica, la cultura della prevenzione dai rischi geologici per la tutela delle vite e dell'ambiente.

ANTONELLO FIORE  
presidente@sigeaweb.it

# La gestione del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale: una risorsa strategica condivisa\*

GIUSEPPE SAPPÀ  
Ingegnere geotecnico – Docente, Università La Sapienza, Roma

MATTEO ROSSI  
Ingegnere idraulico – Ricercatore, Università La Sapienza, Roma

ADRIANO DE VITO  
Ingegnere idraulico – CESECO INTERNATIONAL srl, Roma

## The management of North Sahara Aquifer System: a strategic shared resource

Parole chiave (*key words*): Complesso Terminale (*Terminal Complex*), artesianismo (*artesianism*), Tunisia, irrigazione (*irrigation*), gestione della risorsa idrica (*water resources management*)

La presente memoria illustra sinteticamente la situazione del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale (SASS), un'imponente risorsa sotterranea, la cui disponibilità è ripartita fra tre nazioni – Algeria, Libia e Tunisia – e la cui attuale situazione di crescente criticità è stata verificata dagli scriventi nel corso dei lavori della Commissione Idraulica, istituita dalla Cooperazione Italo-Tunisina all'interno del Programma Sahara Sud nell'ambito del Progetto di riabilitazione e creazione di palmeti da dattero nella zona di Redjem Maatoug, nella Tunisia meridionale. L'importanza strategica di questo sistema idrogeologico risiede, oltre che nella consistente estensione sotto aree desertiche e semidesertiche, anche nella sua natura artesianiana. Studi recenti dell'Osservatorio Sahara Sud hanno dimostrato che si tratta di una risorsa la cui futura possibilità di sfruttamento sta diminuendo rapidamente: se il tasso di prelievo continua a seguire l'evoluzione odierna nei prossimi decenni, il sistema del SASS potrebbe cessare la sua funzione di motore di sviluppo socio-economico delle regioni interessate all'orizzonte 2050. La legislazione internazionale, il monitoraggio dei prelievi e interventi di cooperazione tra le nazioni interessate sembrano essere le strategie più efficaci, congiuntamente alla sensibilizzazione delle popolazioni, per prevenire un eventuale collasso del sistema.

The North Western Sahara Aquifer System (NWSAS) is the main water resource in North Western Sahara. It is a huge aquifer shared between three States: Algeria, Libya and Tunisia. The authors have verified the critical

\* Questa memoria riprende e aggiorna un articolo degli stessi Autori apparso nella rivista "L'Acqua" del 2009. Essa non vuole essere una pubblicazione scientifica, ma si configura come un rapporto svolto per una istituzione governativa della regione del Sahara, su alcuni dati essenziali per la gestione delle risorse idriche sotterranee.

situation of this aquifer during the work of Hydraulic Commission set up by the Italian-Tunisian Cooperation in the aim of driving on the Project of rehabilitation and creation of date palmates in Redjem Maatoug, in South of Tunisia. The strategic importance of this water resource comes from its quantity as from the artesianism of it. Recent studies provided by the South Sahara Observatory – Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) have however demonstrated that it is a depletable resource. If exploitation continues at the current rates, in fact, and even worse at those envisaged for the next decades, it will be completely exhausted by 2050. International legislations, consumption data monitoring and cooperation among the interested countries, together with people awareness, seem to be the most effective means to prevent such piezometric decline.

### 1. INTRODUZIONE: IL SISTEMA ACQUIFERO DEL SAHARA SETTENTRIONALE

Il Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale (SASS) è un vasto acquifero che interessa l'area desertica del Nord Africa tra l'Algeria, la Tunisia e la Libia. Come indicato nella Fig. 1 il

SASS si estende in pieno deserto (in gran parte erg, deserto di sabbia), per circa un milione di km<sup>2</sup>, fra le latitudini 27° e 35° N e le longitudini 2° W e 18° E. Il volume complessivo immagazzinato nell'acquifero è stimato in circa 30 mila miliardi di m<sup>3</sup> (Ould Baba, 2005), sebbene una larga parte di esso non sia ancora utilizzato, sia per l'elevata mineralizzazione, sia perché localizzato al di sotto dei territori sahariani più meridionali del profondo Erg, inospitali e di difficile accesso. L'acquifero si estende in Algeria per circa 7 x 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>, in Libia per 2.50 x 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup> e in Tunisia per 0.8 x 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>.

Come meglio illustrato nel seguito esso è suddiviso in due falde principali: l'*Intercalare Continentale (CI)*, più estesa e più profonda e la falda del *Complesso Terminale (CT)*, più superficiale e di migliori caratteristiche organolettiche, che in parte gli si sovrappone.

Queste risorse sotterranee sono state definite "fossili", in passato, sia per l'accertata vetustà delle acque immagazzinate che, nel caso del SASS, possono datarsi fin oltre 35-40.000 anni or sono, ma soprattutto per sottolineare, con tale termine, il carattere *non rinnovabile* della risorsa, cioè l'assenza di un contatto con zone superficiali di ricarica

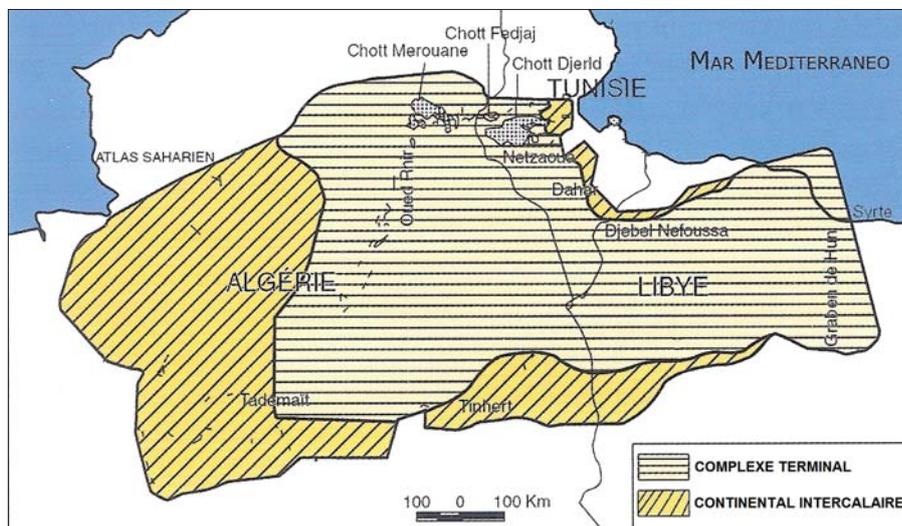


Figura 1 – Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale: il Complesso Terminale e il soggiacente Intercalare Continentale. Le linee continue indicano i confini degli Stati, Algeria, Tunisia e Libia (Fonte: Besbes et al., 2007)

naturale. Nella realtà studi più recenti hanno accertato (OSS, 2003; Ould Baba, 2005) la presenza di zone di ricarica di questo acquifero nella catena montuosa dell'Atlante (Atlas) algerino e del Nefusa tunisino e libico per un contributo netto stimato in circa  $1 \times 10^9$  di  $m^3/anno$ . La lenta infiltrazione al di sotto del deserto sahariano, protrattasi per migliaia di anni, sembrerebbe quindi all'origine dell'acquifero che è andato a saturare le formazioni geologiche profonde, fra strati impermeabili, come meglio illustrato nel paragrafo seguente.

Sebbene questo acquifero sia stato individuato sin dagli anni '50 nel corso di prospezioni geologiche per la ricerca di depositi petroliferi, il suo primo sfruttamento risale al finire degli anni '80 quando lo sviluppo tecnologico ha reso economicamente accessibile la perforazione di pozzi profondi anche per lo sfruttamento di risorse idriche sotterranee. Nel corso degli ultimi decenni lo sfruttamento ha subito un incremento esponenziale per la crescente pressione demografica dei Paesi interessati, e grazie alla economicità di accesso e di sfruttamento della risorsa, che si presentava con un artesianismo di alcune decine di metri di pressione sopra il piano di campagna.

Se quindi fino agli anni '80 questo acquifero è rimasto in sostanziale equilibrio, l'importanza strategica che questa risorsa riveste nelle economie dei paesi interessati, soprattutto per lo sviluppo di importanti progetti agricoli in aree desertiche e semidesertiche,

ha determinato una velocissima crescita dei prelievi che ne sta compromettendo alcune delle principali caratteristiche, prima fra tutte l'artesianismo stesso (Besbes *et al.*, 2004; Zammouri *et al.*, 2007; Rossi, Sappa, 2012).

Non va peraltro dimenticato che questa risorsa garantisce l'alimentazione idrica delle oasi naturali e dei pozzi lungo le principali vie carovaniere, ma anche la parziale alimentazione di più estese falde superficiali, che garantiscono la vita alla vegetazione spontanea, che rappresenta la naturale difesa all'avanzare del deserto.

In questo senso, negli ultimi anni il problema dell'impostazione di corrette strategie di pianificazione dell'utilizzo di questa risorsa si è imposto con forza all'attenzione degli organismi nazionali e sovranazionali determinando un forte impulso a studi regionali e locali dell'evoluzione idrogeologica di questo sistema acquifero (OSS, 2009). Un esempio è stata la simulazione su modello numerico locale dell'acquifero del Complesso Terminale (Rossi, Sappa, 2012).

## 2. GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico il bacino sahariano si definisce in tre sottobacini, il Grande Erg occidentale, il Grande Erg orientale e il plateau dell'Hamada El Hamra. I primi due sono depressioni a scorrimento endoreico che portano a bacini chiusi, "chotts" e "sebkas", dove il clima è arido, con precipitazioni annue intorno a 100 mm.

In sintesi, il SASS è costituito da depositi continentali contenenti due acquiferi principali.

L'Intercalare Continentale è interposto fra due cicli sedimentari che costituiscono degli aquicludi o aquitard: alla base il ciclo del Paleozoico e alla sommità il ciclo del Cretaceo superiore (Cenomaniano e Senoniano lagunare).

Il Complesso Terminale è un insieme poco omogeneo di acquiferi che include formazioni carbonatiche del Cretaceo superiore (Senoniano carbonatico) in basso e depositi terrigeni del Terziario e principalmente del Miocene in alto.

La carta geologica in Fig. 2 e la sezione geologica (Fig. 3) del nord-est del Sahara mostrano estesi affioramenti delle formazioni del Cretaceo superiore, Senoniano carbonatico e Senoniano lagunare, e le argille di transizione del Cenomaniano; al di sotto di queste argille, in formazioni sedimentarie di arenarie e calcari è localizzato l'acquifero dell'Intercalare Continentale (CI) a diretto contatto con la piattaforma basale continentale del Paleozoico.

Il bacino idrogeologico del CI, in una sorta di esteso catino circolare, è perimetralmente delimitato a NW dalla catena dell'Atlante Sahariano delle formazioni Giurassiche: procedendo in senso orario, borda le depressioni dei Chotts (Fig. 4) fino a Gabes in un'alternanza di affioramenti di argille Cenomaniane e formazioni dell'Eocene e Paleocene.

Piega quindi a Sud lungo i rilievi tunisini intorno a Medenine nelle formazioni del Senoniano; quindi si dispone nuovamente ad Est lungo il Gebel Nefusa libico interessando

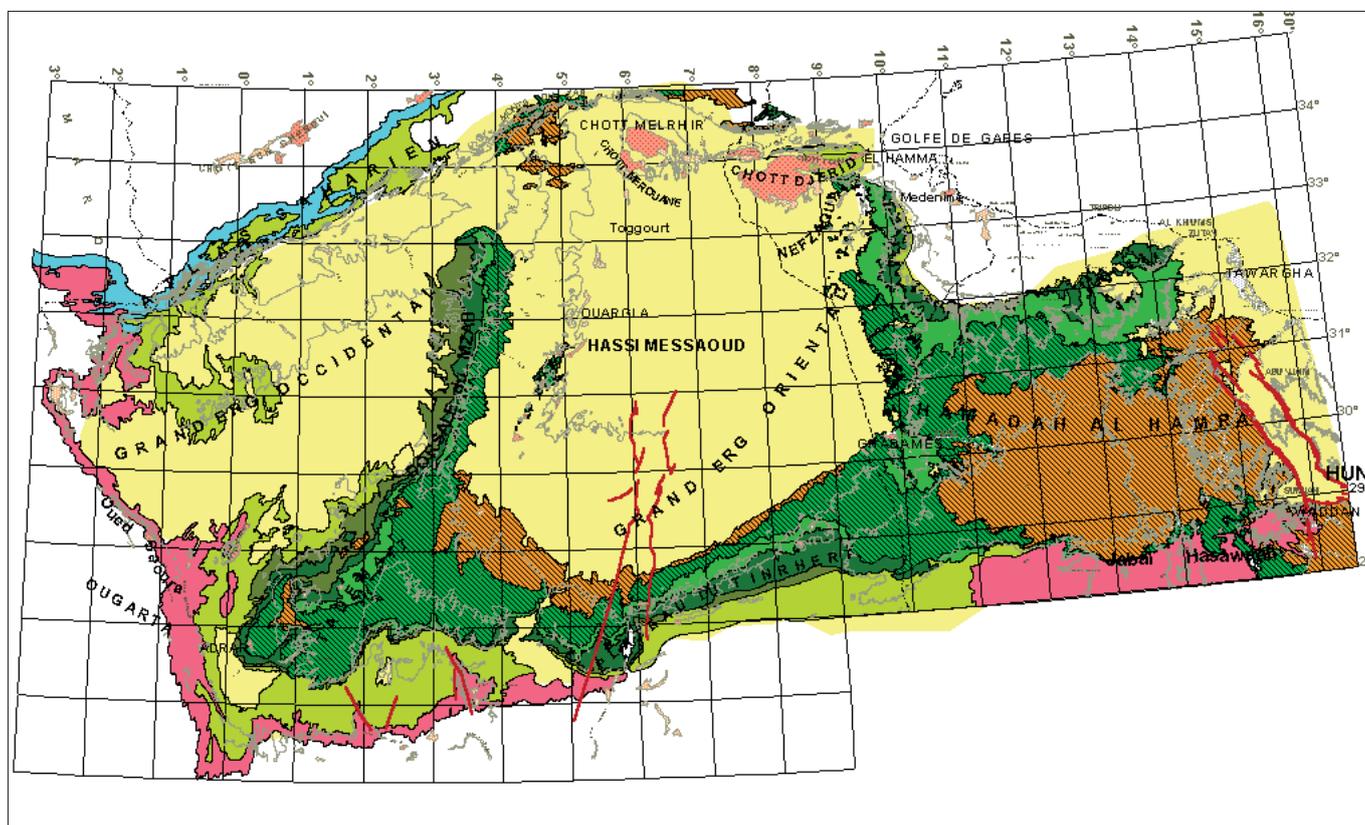


Figura 2 – Carta geologica schematica del Sahara Settentrionale. In giallo il Quaternario (sabbie dell'erg), in marrone l'Eocene e il Paleocene (Miocene, sabbie e calcari, acquifero), nei toni di verde il Senoniano carbonatico e il Turoniano (calcari, acquifero), in rosa il Cenomaniano (argille, aquitard), in azzurro il Giurassico (arenarie e calcari, acquifero), in viola il Paleozoico (complesso basale continentale, aquicludi) (Fonte: Ould Baba, 2005, modificato)

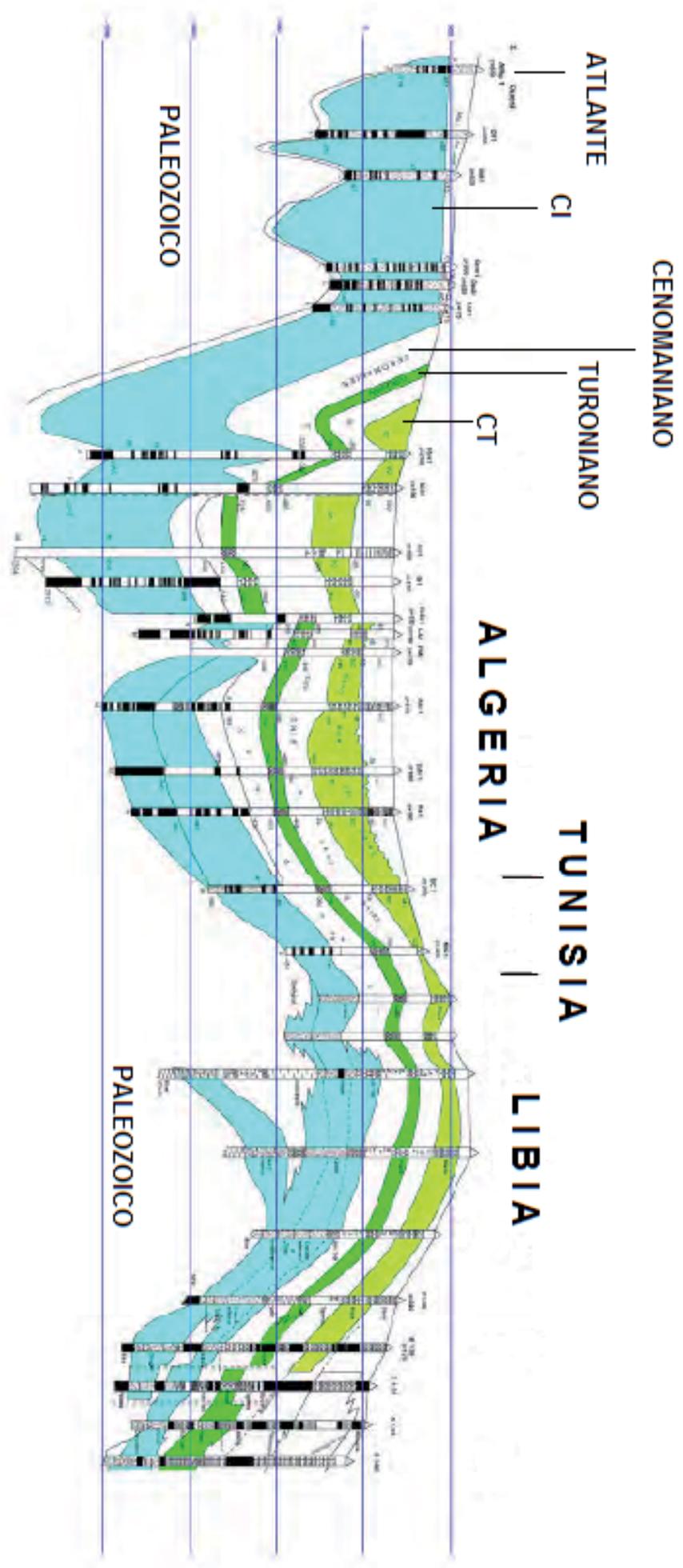


Figura 3 – Sezione idrogeologica da ovest verso est della regione del Sahara Settentrionale, fra i bacini del Grande Erg Occidentale, del Grande Erg orientale e la zona di Tawargha in Libia (nei pressi del Golfo di Sirte), che illustra il sistema acquifero sahariano. Viene indicata la fessura sud-atlantica, che appare come una conca dissimetrica dovuta a subsidenza, in seguito all'accumulo della sedimentazione continentale terziaria e quaternaria. Sono indicati con colori diversi i tre acquiferi sovrapposti. Dal basso verso l'alto: il Continentale Intercalare (CI), sotto le dune del Grande Erg Occidentale; la falda del Turoniano; il Complesso terminale (CT). La scala delle distanze è diversa da quella delle altezze (Fonte: OSS, 2003)

l'intero altopiano del Tarabulus (Tripolitania) interessato dagli affioramenti dell'Eocene e Paleocene. Sul lato meridionale, dalla città libica di Hun (Gebel as Soda), l'acquifero è delimitato, lungo il 28° di latitudine Nord, dai rilievi dell'Hamada al Hamra, dall'Altopiano del Tingher per chiudersi intorno all'Altopiano del Tademait curvando verso NW fino al confine con il Marocco. Il CI lungo questo lato si dispone direttamente al di sopra dei depositi marini paleozoici del complesso basale continentale, che affiorano in più parti, innalzandosi in direzione S verso l'Hoggar.

L'acquifero del Continentale Intercalare è racchiuso, analogamente per quanto avviene

per i depositi di combustibili fossili, tra le pieghe Erciniane del Carbonifero-Permiano dove sono andate sedimentando le formazioni continentali di arenarie del Cretaceo inferiore (Ould Baba, 2005).

L'acquifero del Complesso Terminale (CT) algero-tunisino comprende invece più acquiferi di litologia differente ma in continuità idraulica tra loro. Ad eccezione della zona dei Chotts, vi sono in tutto il bacino del CT numerosi riscontri di interconnessioni tra le formazioni del Senoniano carbonatico, Eocene e Mio-Pliocene tanto da giustificare l'utilizzo di una stessa denominazione per l'acquifero multistrato del CT.

Da notare che al di sotto della formazione del Senoniano carbonatico (che fa parte del Complesso Terminale) è presente la formazione del Senoniano lagunare, dove sono presenti materiali (episodi) evaporitici, costituiti da anidriti e salgemma; questi materiali sono suscettibili di portare alla salinizzazione dei contigui e superiori acquiferi: tali acque risalendo in superficie sono soggette ad evaporazione e conseguente precipitazione dei sali. Questo spiega l'abbondanza di sale nei Chotts. Contribuisce all'alternarsi di specchi d'acqua salmastra con la formazione delle croste saline la variabilità dei fenomeni di pioggia (Fig. 4).



Figura 4 – I Chotts sono depressioni superficiali di acqua a forte contenuto salino, poco profonde, che si formano in ambiente subdesertico: a seconda delle stagioni si possono presentare anche come conche ricoperte da croste saline. Qui il Chott al Djerid, nella Tunisia occidentale, dove le popolazioni locali raccolgono il sale (Fonte: Giuseppe Gisotti)

Tabella 1 – Schema idrogeologico del SASS (Fonte: OSS, 2003, modificato)

ALGERIA	TUNISIA	LIBIA
	Aquiclude (tetto impermeabile, argille)	
Sabbie	Sabbie acquifere del Djerid	Sabbie e calcari del Miocene inferiore
	<b>Complesso Terminale</b>	
Calcari	Calcari di Nefzaoua (Senoniano)	Cretaceo superiore di Mizdkeh
	Aquitard (orizzonte semipermeabile)	
	<b>Falda del Turoniano</b>	
	Aquitard (Argille del Cenomaniano)	
	<b>Continentale Intercalare (Arenarie e calcari)</b>	
Cretaceo inferiore, Giurassico e Trias	Cretaceo inferiore, Giurassico superiore	Cretaceo inferiore, Giurassico e Trias
	Aquiclude (Paleozoico, piattaforma basale continentale)	

Uno schema idraulico concettuale del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale (SASS) è stato proposto dall'OSS (2003) al fine di correlare i differenti livelli acquiferi presenti al di sotto del vasto territorio comprendente Algeria, Tunisia e Libia (Tab. 1).

Raggruppando per quanto detto all'interno di un unico sistema acquifero multistrato le falde dei Calcari del Cretacico Superiore, quelli dell'Eocene e le sabbie del Mio-Pliocene, il SASS si presenta come insieme di 3 acquiferi sovrapposti (dal basso verso l'alto):

1. l' *Intercalare Continentale*;
  2. la *falda del Turoniano*;
  3. il *Complesso Terminale*.
1. Nella zona tunisina, il Continentale Intercalare è localizzato a una profondità variabile intorno a  $-2.000$  m s.m., presenta temperature comprese tra i  $60-70^{\circ}$  C e una pressione idrostatica passata dai circa  $200$  m s.m. negli anni '50 agli attuali circa  $80$  m s.m. (Besbes *et al.*, 2004; Ould Baba, 2005). Le acque del CI si caratterizzano per una elevata mineralizzazione ed una salinità che raggiunge talvolta i  $4$  g/l.
  2. Il livello acquifero intermedio risalente al Turoniano è separato dal sovrastante acquifero del CT da aquitardi più o meno potenti che in alcuni casi non giustificano la separazione della circolazione idrica nello stesso da quella presente nel CT; nella zona della Nefzaoua, in Tunisia, l'acquifero è confinato in livelli dolomitici affioranti nei pressi delle montagne orientali del Dahar. Una continuità idraulica tra questo acquifero e le formazioni convenzionalmente appartenenti al CT è riscontrata nei pressi della faglia Kebili-Tozeur dove le dolomiti contengono acqua dolce. Nella restante parte della regione l'acquifero non riveste particolare interesse a causa del suo alto grado di salinizzazione che supera sovente i  $7$  g/l (Zammouri *et al.*, 2007).
  3. Il Complesso Terminale (CT) comprende le formazioni acquifere più recenti e superficiali e copre un'estensione minore del CI. L'acquifero del Complesso Terminale è confinato nei calcari del tardo Senoniano nella zona del Djerid e nei sovrastanti livelli sabbiosi man mano che ci si sposta verso l'area del Redjem Maatoug e il confine algerino. Il CT è localizzato ad una profondità intorno a  $-250$  m s.m. e presenta temperature comprese tra i  $27^{\circ}$  C e i  $29^{\circ}$  C con una pressione idrostatica (intorno agli anni '50) di circa di  $85$  m s.m., scesa oggi intorno ai  $50$  m s.m., mentre la sua salinità non supera generalmente i  $2,5$  g/l (Agoun, 2005; Zammouri *et al.*, 2007). In particolare le caratteristiche idrogeologiche del CT determinano nella zona un artesianismo significativo con pressioni comprese tra i  $200$  e  $300$  KPa

negli anni '90 e portate artesiane che, nell'area delle oasi di Redjem Maatoug, raggiungevano i  $100-150$  l/s (Agoun *et al.*, 2007).

In Tunisia merita accennare alla grande sorgente di Gafsa, che si manifesta lungo una importante faglia regionale e che ha un interesse anche storico (Henchiri, 2014) (Fig. 5).

Volendo accennare ad alcuni parametri idrogeologici delle formazioni presenti, e accettandone i valori intesi come ordini di grandezza, si possono così inquadrare i valori della trasmissività delle singole unità idrogeologiche: dolomie fratturate del Turoniano:  $150 - 300 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s; calcari del Senoniano:  $10 - 150 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s; sabbie mio-plioceniche:  $1 - 100 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s; argille semipermeabili del Cenomaniano:  $1 - 10 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

### 3. ASPETTI GIURIDICI SUGLI ACQUIFERI FOSSILI

Un recente studio dell'Unione Europea (Struckmeier *et al.*, 2006) individua, a livello mondiale,  $89$  acquiferi che sono utilizzati da due o più Stati confinanti, molti dei quali peraltro interconnessi con corpi idrici internazionali. Sebbene quindi la questione dell'utilizzo delle risorse idriche sotterranee tra paesi confinanti vada crescendo d'importanza negli scenari geo-politici, carenti risultano in genere gli strumenti giuridici disponibili per regolamentare il comportamento di Paesi concorrenti. Così se accordi internazionali tra stati confinanti per l'uso di risorse idriche superficiali sono ormai molto comuni, non altrettanto è possibile affermare per le acque sotterranee. Due in particolare i *Rules* inter-

nazionali per queste risorse: gli *Helsinki Rules* del 1966 e quelli di Seul del 1986, redatti dall'I.L.A. (*International Law Association*). Tali *Rules* non avendo però alcun vincolo di obbligatorietà, hanno più un valore di riferimento comportamentale o di discussione accademica piuttosto che applicazioni pratiche. Quando nel 1997 l'Assemblea Generale delle U.N. finalmente colmò questa lacuna con la *Convention on the Non-Navigational Uses of International Watercourses* – (U.N. GAOR, 51<sup>st</sup> Sess. – Doc. A/RES/51/229), finalmente anche le acque sotterranee assunsero lo status di risorsa internazionale da assoggettarsi a leggi vincolanti. Da tale importante testo giuridico le acque sotterranee definite *fossili* risulterebbero comunque escluse, proprio per la peculiarità di questi acquiferi che presentandosi come struttura isolata priva di una "physical relationship" tra la componente superficiale e quella sotterranea, né presentando un "common terminus" di flusso, secondo la definizione dell'art. 2 della Convenzione stessa, non possono rappresentare né un "system" né un "unitary whole" della dizione tradizionale di un corpo idrico.

È quindi proprio l'assenza di una zona superficiale di ricarica di questi acquiferi che inficerebbe l'applicabilità della Convenzione, se non per il fatto che la stessa Commissione che ha redatto il testo – resasi conto della lacuna – esortò, tramite la *International Law Commission* delle U.N., i Paesi interessati a includere le *acque fossili* nella dizione di "confined groundwater resources", di fatto quindi estendendo l'applicazione della Convenzione anche a queste particolari falde, nello spirito



Figura 5 – La grande sorgente di Gafsa, nella Tunisia centrale, è una delle più note emergenze del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale. Essa si forma in corrispondenza di una faglia di importanza regionale, la faglia di Gafsa, che si imposta nell'acquifero Mio-Plio-Quaternario, per cui le acque che sgorgano sono una miscela fra le acque superficiali e le acque profonde fossili che risalgono dall'acquifero del Cretaceo superiore, sito ad una profondità di circa  $250$  m, in un bacino artesiano di acque termominerali ( $30^{\circ}$  C). Qui le "Piscine Romane", realizzate dai Romani per utilizzare il flusso idrico, giunte fino a noi (Fonte: Giuseppe Gisotti).

quindi dei *Rules* di Seul, che tali restrizioni agli acquiferi in genere non poneva.

Tale postuma precisazione ha lasciato però un certo grado di libertà interpretativo alla definizione soprattutto da parte di esperti favorevoli a considerare questi acquiferi alla stregua dei depositi sotterranei di gas e/o petrolio ai quali sembrerebbero assomigliare e quindi da escludersi dalla suddetta Convenzione. Se la similitudine fisica tra i due tipi di depositi sotterranei potrebbe convincere in tale ultima interpretazione, ciò che però rende estremamente diversa la loro regolamentazione è soprattutto la potenziale vulnerabilità per contaminazione che l'acqua assume come bene economico e vitale. Sebbene il dibattito interpretativo tra le due posizioni sia

#### 4. I PRELIEVI DAL SASS

Il SASS viene suddiviso in una serie di sottobacini evidenziati nella Fig. 6; tra questi, quello di cui gli scriventi hanno potuto acquisire conoscenze dirette è il sotto-bacino dei Chotts tunisini, incluso nel più vasto bacino artesiano. Tale bacino è quello più vulnerabile perché più interessato da un massiccio aumento dei prelievi con l'aggravante del pericolo di contaminazione salina.

Da un recente censimento compiuto nel 2001 dall'OSS è risultato che il SASS risulta essere interessato da circa 8.800 punti di prelievo tra pozzi profondi e sorgenti naturali con utilizzazione predominante nel settore irriguo. Di questi 3500 si alimentano dal CI e 5300 dal CT e geograficamente sono così ripartiti:

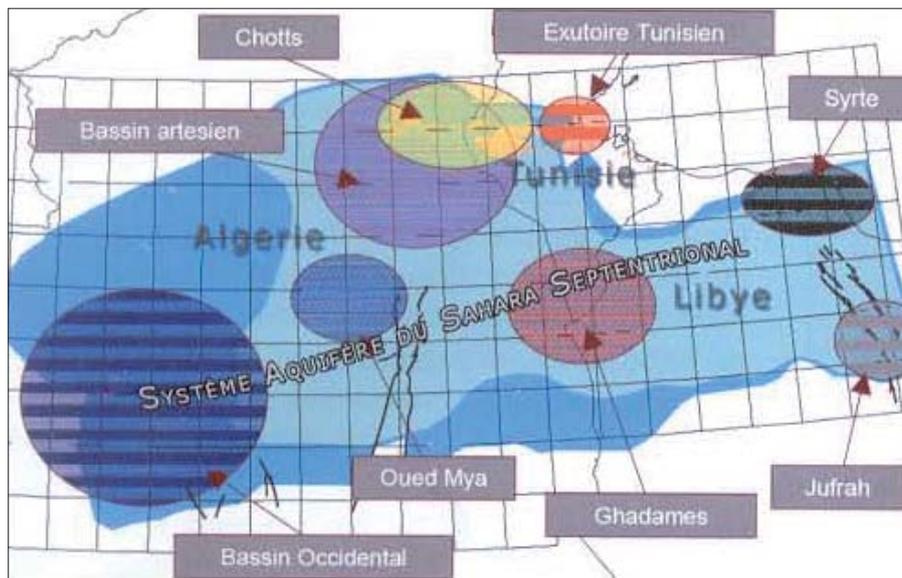


Figura 6 – Sottobacini del SASS (Fonte: OSS, 2003, modificato)

tuttora aperto, è chiaro che la cooperazione tra gli Stati che dividono una comune risorsa, rappresenta il primo irrinunciabile elemento per la conservazione della risorsa stessa.

Nel caso del SASS le conclusioni della Commissione Internazionale (OSS) che ha monitorato e studiato fino al 2002 questo importante acquifero, localizzandone inoltre la propria zona di ricarica superficiale, potrebbero permettere con maggiore facilità l'applicabilità della suddetta Convenzione fra i tre stati confinanti. In questo spirito l'OSS nell'Aprile del 2005 ha promosso la firma di una dichiarazione congiunta da parte dei Ministri con competenza sulle Risorse Idriche di Algeria, Libia e Tunisia, per l'istituzione di un "Meccanismo di concertazione Permanente per il Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale" con lo scopo di proteggere e preservare tale risorsa. C'è però da rilevare che a distanza di vari anni da tale firma nessun atto concreto risulterebbe essere stato registrato, mentre si è al corrente di crescenti interessi nell'utilizzazione dei due acquiferi a fronte peraltro di limitati interventi conservativi.

6.500 in Algeria per un prelievo stimato di 42,1 m<sup>3</sup>/s (21,1 dal CI e 20,9 dal CT), 1.200 in Tunisia per un prelievo di 17,2 m<sup>3</sup>/s (2,7 dal CI e 14,5 dal CT) e 1.100 in Libia per 10,8 m<sup>3</sup>/s (3,4 dal CI e 7,4 dal CT) (OSS, 2003).

Il prelievo complessivo dal SASS è stimato in circa 70,1 m<sup>3</sup>/s, per complessivi 2,2 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/anno, con un allarmante trend di crescita, se si pensa che negli anni '50 il prelievo complessivo si aggirava sui 0,5 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/anno.

Questi numeri possono dare facilmente un'idea dello sbilancio idrologico che presenta il SASS con consumi più che doppi rispetto alla potenzialità di ricarica propria (come si è detto, circa 1 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/anno). Se l'accertata disponibilità non sembrerebbe essere di ostacolo ad una massiccia utilizzazione della risorsa, a preoccupare è la concentrazione dei prelievi in aree ristrette dei sottobacini più antropizzati e le previsioni future, già pianificate con opere di captazione e adduzione in costruzione soprattutto da parte di Algeria e Libia.

Tra i rischi più preoccupanti conseguenti l'aumento dei prelievi si possono elencare:

- il rischio di interferenza "piezometrica" tra zone di prelievo non abbastanza distanziate sia a livello di sottobacini che tra gli stessi Stati rivieraschi,
- la decompressione degli acquiferi artesiani,
- la salinizzazione delle falde per percolazione dai Chott o per intrusione marina,
- il prosciugamento delle risorse superficiali (mediante le foggaras) e delle oasi naturali;
- il crescente uso dei pompaggi necessari a compensare la caduta piezometrica, che oltre a rendere la risorsa sempre più costosa economicamente, è foriero di disequilibri idrogeologici fino al prosciugamento degli stessi pozzi.

Proprio per far fronte a tali problematiche nel 1998 fu costituito l'Osservatorio del Sahara e del Sahel (OSS) citato precedentemente, un'Istituzione internazionale, con sede a Tunisi, che tra il 1998 e il 2001, su finanziamento FAO e IFAD e con il contributo della Cooperazione Svizzera, ha redatto un vasto monitoraggio del SASS e predisposto un modello idrogeologico comprensoriale per verificare alcuni scenari futuri al 2050 (OSS, 2003).

In particolare i risultati delle prime simulazioni per tre differenti scenari di consumo, hanno lasciato poco spazio all'ottimismo: il solo insistere con l'attuale ritmo di prelievo monitorato nell'anno 2000 (scenario "zero"), con Algeria attestata su 42,1 m<sup>3</sup>/s, Tunisia su 17,2 m<sup>3</sup>/s e Libia su 10,8 m<sup>3</sup>/s, comporterebbe un abbattimento piezometrico insostenibile già nel breve termine. Situazioni devastanti risulterebbero invece nelle ipotesi più realistiche di incremento dei consumi con Algeria e Libia in forte espansione e Tunisia in sostanziale stabilità per politiche e interventi di risparmio idrico.

In particolare queste ultime simulazioni sono state eseguite con le seguenti ipotesi di prelievo: Algeria attestata su incrementi del 147% rispetto allo scenario "zero" per una portata complessiva di 104 m<sup>3</sup>/s entro il 2030, e con la Libia, per la prossima entrata in esercizio dei due campi pozzi di Ghadames-Derj e Djebel Hassaounah, che completano il *Great Man-made River Project*, su una portata pressoché costante di circa 20 m<sup>3</sup>/s, che va ad aggiungersi ai circa 75 m<sup>3</sup>/s, prelevati dal SASS. Con queste ipotesi, le simulazioni effettuate hanno evidenziato abbassamenti piezometrici dell'ordine di 200-300 m, con picchi di 400 m come apice della depressione generalizzata. Di fronte a tale allarmante scenario di forte aumento dei prelievi, che ben difficilmente gli stessi componenti dell'OSS vedono arrestabile con drastiche politiche di riduzione dei prelievi stessi, non è restata altra soluzione che il tentativo di delocalizzare i punti di prelievo allontanandoli dalle congestionate zone di utilizzazione, minimizzan-

do così l'interferenza piezometrica tra i vari sottobacini.

Con tale approccio l'OSS ha eseguito una nuova serie di simulazioni sui singoli sottobacini ottenendo risultati più incoraggianti, che a detta del Gruppo di lavoro, può far prevedere un aumento di circa otto volte la sostenibilità temporale dei prelievi stessi. La simulazione conclusiva prevede di delocalizzare i campi pozzi nei sottobacini più "indisturbati", così nel caso Algerino – ad esempio – i punti di prelievo vengono previsti concentrati nel bacino Occidentale nel grande Erg Occidentale, sul confine meridionale del SASS, dove è stata ipotizzata la realizzazione di 10 campi pozzi da 10 m<sup>3</sup>/s cadauno, di profondità di oltre 3.000 m nell'acquifero del Continentale Intercalare.

Se però l'ipotesi di delocalizzazione dei prelievi, a parere degli scriventi, trova una *semplice* risposta a livello numerico, di ben altro impatto è la traduzione dei risultati teorici del modello (che peraltro necessitano, a detta dello stesso OSS, di ulteriori e più approfondite conoscenze idrogeologiche) in interventi concreti estesi su territori vastissimi ed inospitali quali quelli desertici del Sahara.

Ci sarà inoltre da non sottovalutare l'aggravante che la *semplicità estrattiva* che ha caratterizzato questi ultimi decenni, con un'insostenibile proliferazione di pozzi perforati nel sottobacino artesiano molto prossimi ai luoghi di utilizzazione, non potrà che rappresentare un ulteriore ostacolo alla delocalizzazione dei prelievi stessi, che sembra attualmente essere l'unica soluzione percorribile per prolungare nel tempo la fruibilità dell'acquifero ai ritmi di crescita programmati, senza in tutto ciò prendere in considerazione l'alto costo d'investimento e di manutenzione di eventuali imponenti *pipelines* trans-desertiche.

All'uopo si accenna all'utilizzo della modellazione numerica dell'acquifero del Com-

plesso Terminale nella regione tunisina della Nefzaoua, Djerid e Redjem Maatoug (NDRM), che ha permesso di delineare scenari previsionali di evoluzione del sistema con particolare riferimento al trend di diminuzione del fenomeno dell'artesianismo locale (Rossi, Sappa, 2012). Il lavoro ha riguardato l'aggiornamento del modello più recente disponibile del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale (SASS, 2000) con i prelievi e i livelli acquiferi censiti e registrati all'orizzonte 2006. La creazione di un modello locale di flusso, ottenuto per raffinamento telescopico del modello SASS aggiornato nella citata zona NDRM, ha consentito di aumentare il dettaglio della modellazione al fine di valutare le conseguenze locali che i piani di sviluppo agricolo regionali potrebbero avere sull'acquifero del Complesso Terminale. Nel modello sono stati implementati diversi scenari di prelievo, riguardanti le oasi artificiali situate nelle zone di Redjem Maatoug, di Tozeur e di Kebili in Tunisia e di quelle situate nelle zone di confine del territorio algerino al fine di calcolare gli abbassamenti ad essi associati all'orizzonte temporale del 2050. Lo scenario più favorevole, che presuppone i prelievi "congelati" al 2006, prevede una drastica riduzione delle zone interessate dal fenomeno dell'artesianismo già all'orizzonte 2020, con una loro definitiva scomparsa al termine della simulazione; le simulazioni associate alla realizzazione di ulteriori prelievi nelle zone citate, forniscono abbassamenti addizionali al 2050, variabili tra il 15% in più nel caso dei prelievi relativi alla regione della Nefzaoua fino ad un aumento del 25% nel caso di prelievi situati nel territorio algerino. In tale ottica, la modellazione idrogeologica si conferma uno strumento fondamentale per aumentare la consapevolezza delle conseguenze delle politiche di utilizzazione delle acque sotterranee a supporto delle decisioni concertate in merito alla gestione di un sistema acquifero di tale importanza strategica quale è il SASS.

## 5. LE OASI ARTIFICIALI

L'utilizzazione principale delle acque del SASS è agricola, per l'irrigazione di oasi artificiali, prevalentemente coltivate con palme da dattero. La domanda di datteri a livello mondiale ha avuto, negli ultimi decenni, una crescita impetuosa. Lo sviluppo delle oasi artificiali, soprattutto nel bacino artesiano, per il vantaggio energetico che lo caratterizza, è stato inarrestabile, né hanno sortito gli effetti sperati i divieti di perforazione di pozzi profondi, oltre i 60 m, imposti dalle Autorità per tentare di arrestare la dinamica estrattiva che va depauperando pericolosamente la piezometrica.

Dal punto di vista agronomico la palma da dattero, nelle sue diverse qualità, ha una capacità di adattamento sorprendente riuscendo a sopravvivere a temperature anche superiori ai 50°, con limitatissime quantità d'acqua, di salinità anche superiore a 5 g/l. Mediamente il fabbisogno irriguo di una palma da dattero con una produzione media di 70-80 kg di datteri della varietà Deglet Nour, una delle più pregiate, si aggira su 18-20.000 m<sup>3</sup>/Ha anno, cioè circa 5 volte superiore al fabbisogno medio di un frutteto in zone caldo-temperate con una stagione irrigua che dai 4-5 mesi l'anno di quest'ultime zone, passa all'intero anno o quasi dei climi desertici sahariani.

Nella regione del Chott al Djerid tunisino (Fig. 7), dove si concentra il 90% della produzione nazionale, fonti interne stimano che le piantagioni abusive, prive cioè di una regolare concessione di perforazione da pozzo profondo, possano stimarsi dell'ordine del 50% delle piantagioni con regolare concessione di emungimento.

Complessivamente la superficie irrigata al 2001, da fonte dell'Unione dei produttori di Palme da dattero, era risultata superiore ai 320 km<sup>2</sup>, per un consumo idrico che può essere stimato in 6 x 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> corrispondente ad



Figura 7 – Oasi di Tozeur prossime al Chott al Djerid (Fonte: De Vito et al., 2009)



Figura 8 – Irrigazione dell'oasi di Amal, nel Redjem Maatoug (Fonte: De Vito et al., 2009)

una portata media di circa 18-20 m<sup>3</sup>/s prelevata dagli acquiferi profondi, che è prossima al prelievo dello “scenario zero”. Se poi le superfici coltivate indicate non dovessero tenere conto del contributo “abusivo”, ben possono comprendersi gli allarmi dell'OSS.

La tecnica irrigua più diffusa è quella a scorrimento, con sistema turnato. Il corpo d'acqua cioè viene fatto ruotare tra le parcelle attraverso reti comiziali in un periodo irriguo compreso tra i 10 e i 18 giorni, a seconda che si tratti di monoculture o meno. All'interno delle proprietà le reti distributive alimentano i punti di consegna (idranti), che a loro volta servono le conche di adacquamento delle piante, tramite canaletti in terra che l'agricoltore mantiene aperti o chiusi con l'uso della zappa (Fig. 8).

Sebbene il sistema a scorrimento presenti lo svantaggio di avere perdite idriche più che doppie rispetto ai sistemi ad aspersione e quasi triple rispetto ai più moderni sistemi localizzati, esso continua ad essere largamente utilizzato nelle oasi sia per tradizione che per semplicità ed economicità d'impianto. Un ulteriore aspetto che facilita la conservazione di tale sistema, a fronte del valore che la risorsa idrica rappresenta nel contesto desertico, è la possibilità con questo sistema di ottenere produzioni integrative, finalizzate all'autoconsumo (ortaggi e alberi da frutta) e per il bestiame (foraggio), che si sviluppano nelle conche (Fig. 9, nell'ambiente protetto che il palmeto garantisce sotto il suo fogliame.

È peraltro da aggiungere che questo sistema irriguo viene ancora oggi preferito ai più avanzati sistemi a goccia, in quanto il combinato disposto dell'elevata temperatura esterna, e della consistente salinità delle acque prelevate rende difficile la manutenzione e la curabilità dei sistemi di irrigazione più avanzati, che garantirebbero invece un significativo risparmio idrico. Se si aggiunge poi il costo energetico che i più moderni sistemi irrigui necessitano per garantire un loro corretto impiego (almeno 20-30 m di carico piezometrico aggiuntivo) si comprende perché la scelta tradizionale risulti ancora obbligata.

Tale sistema tradizionale inoltre permette di stabilizzare il terreno sabbioso che gradualmente, per l'apporto di componenti organiche, oltre al miglioramento nutrizionale viene reso meno permeabile.

Ormai l'uso di pompaggi integrativi si rende necessario in quasi tutta la regione *artésiana* – specie intorno ai Chott, sia in Tunisia che in Algeria – per compensare l'inesorabile decompressione dell'acquifero che procede ad un ritmo stimato di circa 1 m/anno, con *trend* in crescita verso 1,5 m. Alla caduta generalizzata del livello idrostatico, sono inoltre da aggiungere le perdite di carico localizzate, siano esse dovute al moto di filtrazione verso l'opera (cono di depressione), siano esse dovute a fenomeni turbolenti localizzati nei pozzi estrattivi, nonché le perdite di carico della rete comiziale e distributiva (Fig. 10).

Nel caso tunisino sono due principalmente le formazioni geologiche dell'acquifero del Complesso Terminale: quella calcarea fratturata del Senoniano nella Nefzaoua, con elevata permeabilità e quella delle sabbie mio-plioceniche a permeabilità molto ridotta (Ould Baba, 2005; Agoun *et al.*, 2007), più prossime all'Erg Orientale (Redjem Maatoug; Matrouha etc.).

Con la caduta dell'artesianismo si renderà presto evidente che la presenza di pozzi abusivi, non opportunamente localizzati e distanziati, sarà all'origine di interferenze del regime piezometrico tra i campi pozzi con la conseguente sovrapposizione degli effetti sulla depressione indotta. Tale situazione tenderà ad acutizzarsi con la progressiva decompressione dell'acquifero sia per i crescenti costi energetici e sia per scompensi idraulici che possono, al limite, comportare l'essiccamento di quei pozzi, perforati in formazioni a permeabilità minore.

## 6. ESPERIENZA MATURATA E CONCLUSIONI

Nonostante la dimensione delle problematiche gestionali precedentemente elencate e le conoscenze idrogeologiche che si vanno delineando in un contesto territoriale difficile quale quello del Sahara, si ritiene interessante sinteticamente rammentare l'esperienza maturata dagli scriventi nella sottozona artésiana del Chott Tunisino, quali componenti di una Commissione Idrraulica del Ministero

della Cooperazione Internazionale Tunisino, con il compito di valutare l'implementazione della 2° fase di un progetto irriguo di oasi dattifere sul limite meridionali del Chott al Djerid (oasi di Redjem Maatoug).

In questa zona infatti oltre agli accennati aspetti piezometrici dell'acquifero è da aggiungersi il pericolo che la decompressione in atto possa determinare irreversibili contaminazioni saline da parte delle acque salmastre degli Chotts, sostenute proprio dall'artesianismo (Zammouri *et al.*, 2007).

Limitandoci quindi agli aspetti locali che stanno condizionando il funzionamento delle oasi, si sono distinte due differenti tipologie di cause-effetti:

- il rapido tasso di crescita del prelievo sotterraneo dall'acquifero del SASS nella zona della Nefzaoua-Djerid per parte tunisina e, al di là del confine politico, per l'attigua parte algerina che sta determinando una rapida depressurizzazione dell'acquifero con conseguenze sulle portate naturalmente scaturenti per artesianismo dai pozzi delle oasi;
- la composizione chimico-mineralogica delle acque confinate negli strati sabbiosi del SASS nella regione di Redjem Maatoug che risultano fortemente incrostanti e cor-

rosive e che hanno determinato nel tempo, in assenza di manutenzione ordinaria, una rapida perdita di efficienza dei pozzi.

Nell'ambito dell'incarico assegnato alla Commissione Idraulica sono state quindi svolte le seguenti attività:

- Campagna di misura su 24 pozzi esistenti per il rilevamento dell'idrostatica a pozzo chiuso; successive prove di portata artesiane; analisi termoconduttimetriche e geochimiche di laboratorio su campioni prelevati;
- Misura e verifica della distanza d'influenza tra i pozzi esistenti (Fig. 11);
- Prove di pompaggio su un sottogruppo di pozzi rappresentativi;
- Aggiornamento del modello idrogeologico numerico predisposto originariamente dal Ministero dell'Agricoltura tunisino, alla luce delle misure rilevate e dei prelievi in atto nelle aree limitrofe;
- Programma temporale e progettazione dell'equipaggiamento dei pozzi con pompe elettro-meccaniche e della rete elettrica di alimentazione;
- Predisposizione dei termini di riferimento per la realizzazione di una rete di monitoraggio quali-quantitativo dell'acquifero del CT in prossimità delle oasi di Rejim Maatoug;

- Programma di manutenzione dei pozzi e delle pompe,
- Verifica di funzionamento della rete di drenaggio ed interventi correttivi tesi anche al riutilizzo delle portate drenate.

Gli abbassamenti delle pressioni idrostatiche registrati sui 22 pozzi delle oasi di Redjem Maatoug, aggiornati durante la campagna 2007, relativi al periodo 1985-2007, risultano passare da 30 a 15 m rispetto al piano campagna. Per quanto riguarda le portate artesiane degli stessi pozzi, prendendo a titolo indicativo il pozzo C1F1, la sua portata artesiana in testa pozzo è passata dai 151 l/s del 1986 ai 68 l/s del 2007.

In sintesi, le conclusioni dell'indagine e degli studi svolti hanno evidenziato come nel corso degli ultimi anni si sia verificato un rapido decremento delle portate naturalmente scaturenti dai pozzi per artesianismo, con un anticipo di circa dieci anni rispetto alle iniziali previsioni del Ministero dell'Agricoltura e delle Risorse Idriche della Tunisia, stimate – negli anni '90 – in modo troppo approssimativo e senza un costante monitoraggio.

In aggiunta, la pressione idrostatica dell'acquifero ha raggiunto valori non più sufficienti a garantire il corretto funzionamento degli impianti idraulici con necessità di integrare le portate di



Figura 9 – Palmeto con coltivazioni sotto chioma (Fonte: De Vito *et al.*, 2009)





Figura 11 – Esecuzione di una prova di portata artesianiana con tubo a diaframma su un pozzo di Redjem Maatoug (Fonte: De Vito et al., 2009)

punta estiva con sollevamenti elettromeccanici, la cui prevalenza deve tenere conto inoltre della perdita di efficienza idraulica dei pozzi stessi sia a seguito del mutato scenario piezometrico che per la caratteristica aggressiva delle acque mineralizzate, particolarmente attiva in special modo sulle tubazioni in acciaio nero.

Accanto a ciò, è da segnalare la sottovalutazione di una corretta progettazione delle reti di drenaggio delle acque di irrigazione che hanno causato nel tempo l'insorgere di fenomeni di idromorfismo superficiale con conseguente sottrazione di spazi alle colture produttive e risalita, per capillarità, dei contenuti di gesso dagli strati impermeabili più superficiali.

Le conclusioni della Commissione Idraulica (Agoun *et al.*, 2007) contengono in sintesi suggerimenti che possono essere estrapolati dalla situazione locale a quella più generale delle oasi artificiali di tutta l'area desertica e semidesertica della Tunisia (Nefzaoua, Djerid).

In particolare, i suggerimenti proposti per l'ottimizzazione del progetto possono essere sintetizzati come segue:

- monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee nell'area delle oasi e nelle sue prossimità con il Chott;
- equipaggiamento dei pozzi con pompe sommerse in acciai speciali per compensare la riduzione delle portate artesiane;
- impostazione di attività di rigenerazione periodica dei pozzi e delle pompe installate a causa dell'alto potere incrostante delle acque del Complesso Terminale;
- nuove ipotesi di progetto per i pozzi da perforare nelle nuove oasi allo scopo di migliorarne l'efficienza minimizzando i valori delle perdite di carico concentrate;
- sperimentazione di tecniche di irrigazione localizzata più efficaci ed efficienti per ridurre la portata necessaria per le parcelle irrigue;

- progettazione della rete di drenaggio e degli schemi di riutilizzo delle acque di drenaggio per altri cicli di irrigazione dei palmeti ed a servizio dei villaggi e delle fasce frangivento.

Senza entrare nel merito dei singoli aspetti che potrebbero costituire oggetto di singole trattazioni tecniche, può affermarsi in conclusione che in attesa che vengano posti in essere i piani di delocalizzazione dei punti di prelievo, richiamati precedentemente, in tempi d'intervento che possono facilmente prevedersi nel medio-lungo termine, le azioni da porre in essere nel breve per prolungare la sostenibilità dei prelievi dal SASS, specie dal bacino artesiano, appaiono quanto mai obbligate:

1. Sistematico e costante monitoraggio dell'acquifero;
2. Politiche e tecniche di risparmio e riduzione dei consumi idrici;
3. Massima fermezza nel contrasto ai prelievi abusivi.

La comunità scientifica di supporto alle autorità tunisine preposte alla gestione del SASS sembra essere sensibile e particolarmente attiva relativamente al problema del monitoraggio della risorsa (Besbes *et al.*, 2004) e recentemente si è assistito alla realizzazione di una prima rete di piezometri intorno ai bacini del Chott.

D'altra parte, se anche riguardo al secondo punto esistano mirati interventi, ad esempio della Cooperazione Giapponese nelle oasi di Tozeur, per minimizzare i tracciati delle canalizzazioni a cielo aperto con reti tubate, più problematico, per le ovvie implicazioni politiche, appare il contrasto ai prelievi abusivi che pur tuttavia meriterebbe un'azione quanto mai decisa per non rendere vani i risultati di politiche di corretta gestione della risorsa.

## BIBLIOGRAFIA

- AGOUN A. (2005), *Evolution de la nappe du Complexe Terminal au niveau de Redjem Maatoug – Complexe Terminal aquifer evolution at Redjem Maatoug*, Rapport DRGE, Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eaux de la République Tunisienne, Tunis.
- AGOUN A., BEN AYED M., DE VITO A., SAPPA G. (2007), *Rapport Final de la Commission Hydraulique*, Min. du Développement et de la Cooperation Nationale Tunisienne, Tunis.
- BESBES M., BABASY M., KADRI S., LATRECH D., MAMOU A., PALLAS P., ZAMMOURI M. (2004), *Conceptual framework of the North Western Sahara Aquifer System*, in *Managing Shared Aquifer Resources in Africa – International Workshop Proceedings*, UNESCO ISBN 92-9220-028-3.
- DE VITO A., ROSSI M., SAPPA G. (2009), *Il Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale. La gestione complessa di una risorsa strategica condivisa*, in L'Acqua, n. 3 Maggio-Giugno.
- HENCHIRI M. (2014), *Depositional morphotypes and implications of the Quaternary travertine and tufa deposits from along Gafsa fault: Jebel El Mida, southwestern Tunisia*, in *Journal of African Earth Sciences*, february
- OULD BABA M. (2005), *Recharge et paléorecharge du Systeme Aquifer du Sahara Septentrional – Recharge and paleorecharge of NWSAS*. Thèse de doctorat en Géologie, Université El Manar, Tunisie.
- OSS (2003), *Système Aquifer du Sahara Septentrional*, vol. I, II, III, IV. Int. Rep. Project SASS, OSS. Tunis.
- ROSSI M., SAPPA G. (2012), *Numerical modeling to estimate the artesianism evolution in North-western Sahara Aquifer System*, in *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, June.
- SAPPA G., ROSSI M. (2008), *Effetti locali dello sfruttamento del Sistema Acquifero del Sahara Settentrionale*, in *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 3.
- STRUCKMEIER W. F. *et al.* (2006), *WHYMAP and World Map of Transboundary Aquifer System*, 4° World Water Forum – Mexico City – mar. 2006.
- ZAMMOURI M., SIEGFRIED T., EL-FAHEM T., KRIËA S., KINZELBACH W. (2007) *Salinization of groundwater in the Nefzawa oases region, Tunisia: results of a regional-scale hydrogeologic approach*, in *Hydr. J.* 15 (7). DOI: 10.1007/s10040-007-0185-x.

# Lo stato dell'irrigazione in Italia

MARIA LUISA FELICI  
Geologo

## The situation of the agricultural irrigation in Italy

Parole chiave (*key words*): gestione delle risorse idriche (*water resources management*), irrigazione per l'agricoltura (*irrigation for agriculture*), politiche per l'irrigazione (*irrigation policy*), Distretti idrografici (*hydrographic Districts*), sistemi di irrigazione (*irrigation systems*)

Nel corso degli ultimi decenni, l'evoluzione del fenomeno irriguo e della gestione dell'acqua è stato fortemente influenzato dall'affermazione delle politiche ambientali, avviate sia a livello mondiale che nazionale per la protezione delle risorse naturali dall'inquinamento e dal depauperamento e in cui l'agricoltura ha svolto e svolge tuttora un ruolo determinante nella gestione compatibile dell'acqua. In questo contesto, le politiche agricole si sono sempre più orientate al mantenimento del territorio, alla fruizione dei beni ambientali, alla qualità dei prodotti agricoli e dell'alimentazione anche in vista della loro esportazione su mercati internazionali, ma proprio da qui nasce l'esigenza di disporre di acqua per l'irrigazione e del rispetto della sua qualità, fattori che devono comunque ottemperarsi con il risparmio idrico. Infatti i consumi di acqua e i fabbisogni sono costantemente aumentati nel tempo creando problemi non solo di approvvigionamento ma anche di competizione tra gli usi della risorsa, come l'uso a scopo energetico, l'uso agricolo e l'uso turistico. Il principio dell'uso integrato dell'acqua, con una pianificazione e programmazione diretta a garantirne gli usi, con priorità per l'uso civile e poi agricolo, ha portato alla definizione di un ciclo integrato dell'acqua gestito in ambiti territoriali ottimali da cui però l'uso irriguo è escluso. Non da ultimo, occorre necessariamente fare i conti con i cambiamenti climatici e la riduzione delle disponibilità idriche complessive sul territorio nazionale con conseguente possibile condizione di siccità in talune aree geografiche del territorio. Occorre comunque sottolineare che anche altri paesi europei sono interessati da tali situazioni, a cui si accompagnano alluvioni e dissesto idrogeologico, con tutto il loro carico di danni in termini ambientali, infrastrutturali e umani.

Non vanno inoltre dimenticati gli orientamenti delle politiche europee in materia di uso delle risorse che prendono atto dei problemi indicati e della essenzialità delle risorse idriche ai fini del mantenimento degli esseri viventi e per la salute umana, oltre che per tutti i possibili usi dell'acqua. La Commissione Eu-

ropea, attraverso delle Comunicazioni, ha già messo in guardia contro lo spreco delle risorse idriche, calcolato nel 20-40% dei volumi prelevati, invitando all'aumento dell'efficienza per mezzo di miglioramenti tecnologici.

Gli obiettivi della Comunicazione COM (2011) 571 def. sono di rendere pienamente attuati i piani di gestione dei bacini idrografici (di cui alla Direttiva quadro sulle acque) e per quanto riguarda l'agricoltura, l'obiettivo è quello di ricorrere a colture adatte

alle mutate condizioni climatiche (maggiore resistenza alla siccità), all'aumento della ritenzione idrica dei suoli agricoli e all'adozione di sistemi di irrigazione più efficienti. Inoltre, l'estrazione di acqua non dovrebbe superare il 20 per cento delle risorse idriche rinnovabili disponibili. Gli Stati membri dovrebbero pertanto, entro il 2020, stabilire obiettivi in materia di efficienza idrica a livello di singolo bacino idrografico, sulla base di una metodologia comune nell'Ue.



Figura 1 – Bacini idrografici  
Fonte: Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, 2014b

## L'IRRIGAZIONE IN ITALIA

Il settore agricolo (inteso come produzioni agricole, silvicoltura e pesca) rappresenta circa il 2% del PIL prodotto annualmente in Italia.

Il consumo di acqua in Italia ai fini agricoli è stimato in 15-20 miliardi di m<sup>3</sup> all'anno e di questi, la metà di riferisce a captazione da corsi d'acqua, soprattutto nel Nord del paese mentre nel Sud e nelle isole gli invasi svolgono il ruolo fondamentale di serbatoi idrici da cui prelevare i quantitativi necessari all'irrigazione.

La rete irrigua principale si estende su 23.000 km di lunghezza ma il suo "stato" riflette i diversi fattori storici, idrogeologici, orografici e ambientali che hanno caratterizzato e tuttora caratterizzano il nostro territorio.

L'eterogeneità dei reticoli idrografici è spiegabile in relazione alle caratteristiche geomorfologiche del Paese, con tipologie che variano dai grandi bacini idrografici del Nord Italia ai corsi d'acqua di medie e variabili dimensioni del Centro, ai corsi d'acqua irregolari e di tipo torrentizio del Sud e delle Isole. Le aree potenzialmente in grado di essere usate ai fini agricoli e irrigui sono per lo più concentrate lungo le coste e nelle aree vallive, sono di piccole e medie dimensioni ad eccezione di alcune ampie pianure come le pianure padana, foggiana, catanese, pontina e oristanese.

Nel corso degli ultimi periodi storici, il Nord ha sempre avuto disponibilità idriche potenziali maggiori rispetto alle altre zone d'Italia, anche grazie ad una maggiore attenzione verso le superfici interessate e alla diffusione della gestione collettiva della risorsa acqua, in cui la captazione e l'erogazione idrica è garantita da un servizio collettivo organizzato in forma di

Consorzio o di associazioni di utenti, per lo più imprenditori agricoli, i quali stabiliscono l'approvvigionamento alle fonti, gli schemi idrici per la distribuzione della risorsa e le modalità di erogazione agli utenti. Per motivi storici e politici che risalgono indietro nei secoli, il Meridione è rimasto isolato da tali forme di collettivismo e anche l'Unità d'Italia non ha di fatto cambiato di molto la situazione, sebbene il governo Cavour puntasse l'attenzione sull'interesse pubblico dell'irrigazione e delle bonifiche. Non va dimenticato che dal 1871 al 1961, la superficie irrigabile (superficie attrezzata per l'irrigazione) è passata da 1,5 a 3,1 milioni di ettari, di cui oltre il 70% nel Nord Italia. A partire dal dopoguerra, l'irrigazione si è sviluppata al Sud e nelle Isole mediante il ricorso a politiche di investimento mirate alla modernizzazione dell'agricoltura attraverso lo sviluppo dell'irrigazione collettiva.

Negli ultimi decenni, sono intervenuti numerosi fattori che hanno modificato le politiche agricole nazionali e l'irrigazione italiana: la liberalizzazione dei mercati, le preferenze alimentari non solo dell'Italia ma anche dell'Europa, la necessità di introdurre il risparmio idrico a fronte del depauperamento delle fonti di approvvigionamento per l'aumentato consumo della risorsa acqua, ma anche a causa dell'inquinamento ambientale e dei cambiamenti climatici.

### I DISTRETTI IDROGRAFICI ITALIANI

L'irrigazione italiana ha origini lontane, di cui esistono tracce note già ai tempi degli Etruschi (ma forse anche prima) e poi dei Romani. Nei periodi successivi cominciarono

ad affermarsi politiche di utilizzo delle risorse idriche collettive ma fu solo con il Governo Cavour che alla pratica irrigua fu riconosciuta la sua importanza per lo sviluppo economico del paese. Una delle prime norme è la legge 18 giugno 1889, introdotta poi nel Testo unico n. 195 del 22 marzo 1900, riguardante le bonifiche e il risanamento idraulico dei territori al fine di sconfiggere la malaria. Nel corso degli anni altre norme sono state emanate, riconoscendo l'importanza della tutela ambientale delle risorse idriche. Basti pensare ai diversi interventi legislativi del settore come la legge Serpieri (RD 215/1933), la legge quadro in materia di difesa del suolo (Legge 183/89), le norme di gestione integrata delle acque (Legge 36/94, più nota come legge Galli) e di tutela ambientale dei corpi idrici (D.lgs. 152/99), il D.lgs 152/2006 e la Legge 221/2015 che istituisce i nuovi distretti idrografici, a cui si aggiungono le leggi di decentramento e di riordino delle competenze di Stato, Regioni, Amministrazioni dello Stato.

I principi cardine promulgati dalla Legge 183/89 e dalla Legge Galli tuttora vigenti sono la pianificazione dell'uso dell'acqua su scala di bacino idrografico e la gestione basata sul ciclo integrato dell'acqua in ambiti territoriali ottimali. In particolare, con la legge 183/89 il territorio nazionale è stato suddiviso in 8 bacini idrografici di rilevanza nazionale (Padano, Alpi orientali, Appennino settentrionale, Bacino pilota del fiume Serchio, Appennino centrale, Appennino meridionale, Sicilia, Sardegna) a livello interregionale e regionale, istituendo inoltre le Autorità di bacino. Ulteriore importante passaggio si è avuto con il D.lgs. 152/99,

**Tabella 1 – Superfici degli Enti irrigui per Distretto idrografico (\* e \*\*)**

Distretti idrografici	Enti irrigui attivi (n.)	Superfici (ha)		
		Amministrativa	Attrezzata	Irrigata
Padano	240	4.270.356	1.325.907	983.867
Alpi Orientali(*)	157	1.371.351	598.711	586.700
Alpi Orientali-Padano	5	278.780	169.954	148.198
Appennino Settentrionale	12	2.082.213	135.725	49.168
Appennino Settentrionale-Serchio (2)	2	95.507	1.054	...
Appennino Centrale-Appennino Settentrionale (3)	5	619.446	24.433	14.073
Appennino Centrale (4)	9	1.881.176	92.909	74.547
Appennino Centrale-Appennino Meridionale	2	337.897	25.177	1.020
Appennino Meridionale	37	4.951.099	413.068	207.537
Sicilia	10	2.382.307	142.965	74.248
Sardegna	10	937.363	161.540	59.303
<b>ITALIA</b>	<b>489</b>	<b>19.207.495</b>	<b>3.091.443</b>	<b>2.198.661</b>

(\*) Esclusa la PA di Bolzano

(1) Alpi orientali-Fiume Po: Veronese, Fossa di Pozzolo, Delta Po Adige, Terlagio, Ronzo-Chienis

(2) Appennino Settentrionale-Serchio: Bientina, Versilia Massaciuccoli

(3) Appennino Centrale-Appennino Settentrionale: Valtiberina Toscana Alta Umbria, Val di Chiana Romana e Val di Paglia, Val di Paglia Superiore, Maremma Etrusca

(4) Appennino Centrale-Appennino Meridionale: Sud, Ovest

(\*\*) La tabella non tiene conto del nuovo Distretto dell'Appennino Settentrionale.

che afferma il principio di inscindibilità tra tutela qualitativa e tutela quantitativa dei corpi idrici mentre a livello europeo ricordiamo la direttiva 2000/60/CE che costituisce la nuova norma quadro europea in materia di gestione e protezione delle risorse idriche.

Il 17 febbraio 2017 è entrato in vigore il Decreto Ministeriale Ambiente del 25/10/2016 pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 27 del 2 febbraio 2017, con il quale tutte le Autorità di Bacino ex lege 183/89 sono state soppresse e sostituite dalle Autorità di Bacino Distrettuali. Il Bacino pilota del fiume Serchio, che in precedenza individuava un distretto idrografico a se tante, con il nuovo Decreto è stato inglobato nel Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, per cui gli iniziali otto distretti sono diventati sette.

### I NUMERI DELL'IRRIGAZIONE IN ITALIA

I dati che saranno esposti in seguito presentano una fotografia dello stato dell'irrigazione in Italia riferiti ad un periodo precedente a quello attuale ma pur sempre in grado di fornire una visione d'insieme generale dello stato dell'irrigazione italiana.

Dal punto di vista irriguo (Tab. 1), l'Italia può essere suddivisa in tre grandi aree.

Il Nord si presenta con una rete di canali di bonifica utilizzati nella stagione irrigua per la distribuzione dell'acqua (a cosiddetta rete promiscua). Le fonti di approvvigionamento sono costituite per lo più da prese dirette dai corsi d'acqua o dalle sorgenti mentre la gestione dell'irrigazione è in gran parte collettiva. Differenze sono presenti tra l'area subalpina con irrigazione frammentata e concentrata nelle valli, e la Pianura Padana e il Veneto, estesa e capillare nei territori di pianura.

Nel Centro Italia la rete di bonifica e irrigazione è mediamente sviluppata e l'irrigazione



Figura 2 – Sistemi di irrigazione prevalenti negli Enti irrigui  
(Fonte: Ministero delle politiche agricole, 2014b)

Tabella 2 – Sistemi di irrigazione adottati a livello aziendale per Distretto idrografico

Distretti idrografici	Sistemi di irrigazione (%)					
	Scorrimento	Aspersione	Sommersione	Infiltrazione	Infiltrazione Sotterranea	Localizzata
Padano	51,9	29,1	13,5	2,1	0,1	3,3
Alpi Orientali	41,2	38,0	1,5	13,7	3,3	2,3
Alpi Orientali-Padano	38,9	30,3	4,8	25,8	0,0	0,1
Appennino Settentrionale	0,0	69,1	3,8	1,9	1,3	23,8
Appennino Settentrionale-Serchio	....					
Appennino Centrale-Appennino Settentrionale	-	72,8	-	8,2	-	19,0
Appennino Centrale	17,1	79,0	-	-	-	3,9
Appennino Centrale-Appennino Meridionale	10,3	76,7	-	-	-	12,9
Appennino Meridionale	3,4	39,3	0,3	3,6	-	53,3
Sicilia	5,5	20,6	0,5	-	-	73,3
Sardegna	0,2	70,0	5,6	-	-	24,1
<b>ITALIA</b>	<b>37,5</b>	<b>37,3</b>	<b>8,3</b>	<b>4,8</b>	<b>0,5</b>	<b>11,6</b>



Figura 3 – Fonti di approvvigionamento irriguo negli Enti irrigui  
Fonte. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, 2014b

collettiva è presente in aree specializzate di piccole e medie dimensioni (vedi Agro Pontino, Agro Romano, Val Tiberina, costa toscana). L'irrigazione si è da sempre sviluppata preva-

lentemente in forma autonoma e questo ha comportato elementi di criticità, in quanto non partecipa alle attività di pianificazione dell'uso su scala di bacino idrografico e sfugge al con-

trollo e alla gestione, dando origine, in caso di uso inefficiente, a problemi di natura ambientale (salinizzazione delle acque per eccesso di prelievi, perdita di fertilità dei suoli) e all'impossibilità di gestire al meglio eventuali crisi idriche. In questa area, l'irrigazione collettiva ha un limitato sviluppo, concentrato per lo più nelle aree vallive dei fiumi principali e lungo le pianure costiere, mentre l'irrigazione autonoma è prevalente nelle aree interne e collinari.

Nel Sud e nelle Isole le aree oggetto di bonifica riguardano le pianure alluvionali costiere. Nel secondo dopoguerra sono stati realizzati invasi e schemi irrigui a gestione collettiva ma permane tuttora lo squilibrio tra disponibilità idrica e fabbisogni reali. L'irrigazione autonoma è molto diffusa e prevale in alcune aree, come la Puglia e la Calabria.

Ulteriore aspetto di complessità del fenomeno irriguo si riscontra nella unità territoriale di riferimento delle competenze di pianificazione e gestione delle risorse idriche. Secondo la normativa comunitaria e nazionale (INEA, 2011; Mipaaf, 2014b), la pianificazione avviene su scala di bacino idrografico mentre la gestione dell'irrigazione ha come unità territoriale di riferimento la superficie amministrativa degli Enti irrigui presenti sul territorio nazionale, circa 500 dopo gli interventi di razionalizzazione degli anni passati da parte delle regioni (Tab. 1 e Fig. 1). Gli Enti sono eterogenei in dimensioni, funzioni, e ordinamento giuridico, ma in maggior parte sono Consorzi di bonifica e irrigazione, sebbene in alcune regioni non tutti i Consorzi svolgano attività irrigue, come ad esempio gran parte dei Consorzi toscani, il Consorzio Pratica di Mare nel Lazio e il 4-Caltanissetta in Sicilia. La razionalizzazione regionale ha comportato l'accorpamento degli Enti, soprattutto nel Nord Italia, una complessiva revisione delle utenze irrigue nei nuovi piani di classifica (Lombardia, Veneto, Piemonte) e per quanto riguarda le funzioni, oltre all'irrigazione, agli Enti sono stati assegnati obiettivi ambientali, di multifunzionalità e mantenimento del ter-

Tabella 3 – Tipologia di opere di presa (numero e %)

Distretti idrografici	Captazione (numero e %)											
	da canale		da sorgente		da falda		da lago/invaso		da fiume		altro tipo di opera	
	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
Padano	271	10,0	310	11,4	588	21,6	32	1,2	1.394	51,3	122	4,5
Alpi Orientali	194	15,3	63	5,0	511	40,3	15	1,2	282	22,2	204	16,1
Appennino Settentrionale			2,0	2,7	21	28,0	8	10,7	31	41,3	13	17,3
Serchio							1	33,3	1	33,3	1	33,3
Appennino Centrale	11	8,1	2	1,5	45	33,1	19	14,0	54	39,7	5	3,7
Appennino Meridionale	30	3,8	57	7,3	567	72,1	21	2,7	99	12,6	12	1,5
Sicilia			10,0	14,7	13	19,1	27	39,7	13	19,1	5	7,4
Sardegna	1	3,7					18	66,7	8	29,6		
<b>ITALIA</b>	<b>507</b>	<b>10,0</b>	<b>444</b>	<b>8,7</b>		<b>34,3</b>	<b>141</b>	<b>2,8</b>	<b>1.882</b>	<b>37,0</b>	<b>362</b>	<b>7,1</b>

ritorio. Da notare che nelle regioni centrali e meridionali i riordini tendono a far coincidere i limiti amministrativi degli Enti con quelli dei bacini idrografici ma in alcuni casi, alcune leggi regionali di riordino dei Consorzi hanno fatto coincidere il loro territorio con quello provinciale (INEA, 2011; Mipaaf, 2014b).

La superficie amministrativa esprime una competenza giuridica in materia di irrigazione sul territorio, ma non sempre è significativa del fenomeno irriguo, in quanto può comprendere anche territori e aree su cui non sono presenti superfici attrezzate per l'irrigazione. Seguendo la loro missione, gli Enti possono svolgere anche altre attività, a volte principali rispetto all'irrigazione, come la bonifica, il miglioramento fondiario, le attività agro-forestali (Comunità montane). Il 49% degli Enti opera nel Distretto Padano, valore su cui incide il numero elevato di piccoli Enti attivi nelle aree subalpine (Valle d'Aosta e Trentino), aventi una elevata frammentazione legata alla morfologia del territorio. Nelle zone pedecollinari e pianeggianti del Nord, nel Sud e nelle isole, invece, prevalgono Enti irrigui di dimensioni medio-grandi.

Più indicativa per il fenomeno irriguo è la superficie attrezzata (cf. Tab. 1), che rappresenta la porzione di territorio degli Enti irrigui su cui insistono infrastrutture e su cui è organizzato il servizio d'irrigazione. Questa area si estende su circa 3,1 milioni di ettari, di cui il 43% nel Padano, il 19% nelle Alpi orientali e il 13% nell'Appennino meridionale.

Se si rapporta il numero di Enti alla superficie attrezzata per l'irrigazione, ogni singolo Ente gestisce mediamente circa 6.300 ettari, ma il dato si presenta estremamente eterogeneo, in quanto si va dai circa 100 ettari gestiti nei Consorzi valdostani e trentini agli oltre 30.000 ettari nei Consorzi veneti e pugliesi. Gli Enti con maggior superficie attrezzata si trovano per lo più nel Medio e Basso bacino del Po, mentre l'Ente con la più elevata superficie attrezzata è l'Est Sesia con una gestione di oltre 137.000 ettari.

Dal confronto tra superficie attrezzata ovvero presenza di infrastrutture per l'irrigazione e superficie irrigata, il grado di utilizzazione

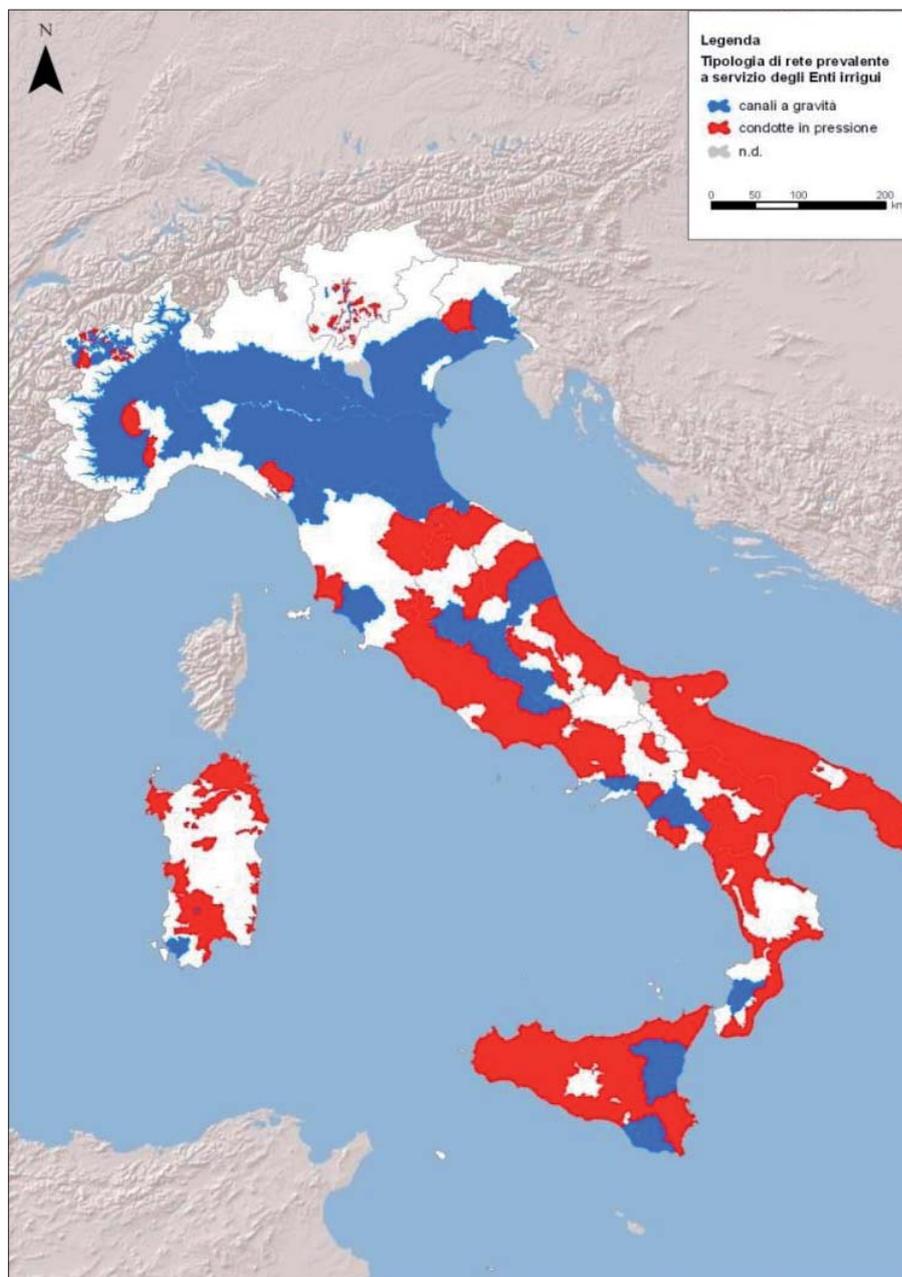


Figura 4 – Tipologia di rete irrigua prevalente a servizio degli Enti irrigui  
Fonte: Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, 2014b

delle infrastrutture irrigue (rapporto tra superficie irrigata e attrezzata) in media è pari al 71%, con valori più elevati nelle Alpi orientali (98%) e nell'Appennino centrale (80%), più bassi a Sud e nelle isole (tra il 50 e il 37%).

La superficie irrigata è di poco superiore ai 2 milioni di ettari, di cui l'80% al Nord Italia

A livello europeo, la Spagna è al primo posto per superficie irrigata, circa 3 milioni di ettari, mentre al secondo posto si trova l'Italia

#### I BACINI IDROGRAFICI ITALIANI

I bacini idrografici italiani individuati dalla Legge 183/89 e successivamente dal Decreto Ministeriale Ambiente del 25/10/2016, entrato in vigore lo scorso 17 febbraio 2017, sono i seguenti:

1. **Padano** i cui limiti coincidono con i limiti del bacino idrografico del fiume Po, il più grande d'Italia per estensione (si sviluppa dalle Alpi al Mare Adriatico su un'area di 71.057 km<sup>2</sup>), per lunghezza (650 km) e per entità dei deflussi;
2. **Alpi orientali** che si estende su una superficie complessiva di circa 40.000 km<sup>2</sup>;
3. **Appennino settentrionale**, situato nel sistema delle Catene alpine del Mediterraneo centrale, si estende dalla Liguria alle Marche, occupando una superficie di circa 24.300 km<sup>2</sup>. Dal 17 febbraio 2017 il Distretto del bacino pilota del fiume Serchio è stato soppresso ed incluso nel distretto dell'Appennino settentrionale, ridisegnando pertanto i confini del bacino idrografico;
4. **Appennino centrale** la cui area si estende su 42.506 km<sup>2</sup>;
5. **Appennino meridionale**, che si estende su un'area di 68.200 km<sup>2</sup>;
6. **Sicilia** coincidente con la superficie della regione Sicilia che ricopre 25.708 km<sup>2</sup>.
7. **Sardegna**, il cui Distretto idrografico è uguale al territorio regionale, 24.000 km<sup>2</sup>.

Tabella 4 – Caratteristiche della rete irrigua principale per Distretto idrografico

Distretti idrografici	Captazione (numero e %)									
	Irrigua	Multipla	Non specificato	Canale cielo aperto	Canale chiuso/condotta pelo libero	Canali in galleria	Condotte in pressione	Tratto di corso d'acqua utilizzato per vettoriamento ai sensi del Reg. 41/00	Non specificato	Lunghezza totale (km)
Padano	5.727	5.605	–	9.188	697	53	784	189	421	11.332
Alpi Orientali	2.397	735	–	2.042	84	1	950	–	55	3.132
Alpi Orientali-Padano	232	149	–	342	17	–	11	–	7	381
Appennino Settentrionale	301	427	0	449	76	26	101	75	0	728
Appennino Settentrionale-Padano	44	94	–	125	13	–	1	–	–	138
Appennino Settentrionale-Serchio	28	0	0	28	0	1	0	0	0	28
Appennino Centrale-Appennino Settentrionale	183	–	–	–	–	–	183	–	–	183
Appennino Centrale	823	23	–	195	89	18	545	–	–	846
Appennino Centrale-Appennino Meridionale	162	–	–	8	13	–	141	–	–	162
Appennino Meridionale	3.631	–	405	621	80	40	3.189	–	106	4.036
Sicilia	1.007	–	61	300	39	17	712	–	–	1.068
Sardegna	1.208	–	–	286	14	59	849	–	–	1.208
<b>ITALIA</b>	<b>15.744</b>	<b>7.034</b>	<b>466</b>	<b>13.589</b>	<b>1.121</b>	<b>215</b>	<b>7.467</b>	<b>265</b>	<b>589</b>	<b>23.244</b>

(escludendo le colture protette e gli orti familiari). Il nostro paese è invece quarto in termini di incidenza della superficie irrigata sulla SAU (Superficie Agricola Utile ovvero il totale delle superfici aziendali destinate all'agricoltura), circa il 19 per cento, dopo Malta, Cipro e la Grecia, la quale irriga circa il 20% della SAU. Nell'annata agraria 2009-2010, 708.449 aziende hanno irrigato 2.489.914,70 ettari, utilizzando un volume di acqua pari a 11.618 milioni di metri cubi (Istat, 2014).

L'analisi dei sistemi di irrigazione adottati dalle aziende irrigue consorziate tende alla conversione di sistemi di irrigazione verso metodi a minor consumo idrico e maggiore efficienza, come l'aspersione e lo scorrimento che si attestano al 37% della superficie attrezzata, seguite alla irrigazione localizzata all'11,6%, con differenze tra Nord, Centro e Sud: al Nord, nei Distretti del Fiume Po e Alpi orientali lo scorrimento rappresenta il metodo prevalente, nell'Appennino settentrionale e in Sardegna l'aspersione è al primo posto, al Sud l'irrigazione localizzata è il metodo che prevale.

Dal punto di vista dell'approvvigionamento (Tab. 3) e distribuzione, gli Enti irrigui possono contare su oltre 5.000 fonti di cui circa 1.900 corsi d'acqua e oltre 500 sul reticolo artificiale dei canali (vedi tavola 3). A livello territoriale, il 54% delle captazione avviene nel Distretto padano e il 24% nelle Alpi orientali; i corpi idrici interessati dalla captazione sono il Po e i suoi affluenti, e l'Adige. Nel Sud le acque di falda svolgono un ruolo importante ai fini delle risorse idriche, in quanto molte aree hanno un reticolo di superficie poco sviluppato. In totale il Sud vede la presenza di

580 fonti di captazione da falda e di 66 invasi naturali e artificiali, di cui 27 in Sicilia.

Come si vede dalla Tab. 3, la captazione da fiume è il metodo più usato, pari al 37,0% del totale, in particolare nel Distretto Padano, mentre gli invasi tendono a concentrarsi a Sud e nelle isole. D'altronde, i corsi d'acqua e in generale il reticolo superficiale offrono la maggiore disponibilità in termini di disponibilità idriche.

Per quanto riguarda la rete irrigua principale (Tab. 4), la sua lunghezza è di circa 23.000 km, di cui circa la metà, 11.332 km, nel Distretto del Fiume Po, seguita dall'Appennino meridionale con 4.036 km. Le reti più moderne, come le condotte a pressione, prevalgono nelle regioni meridionali e centrali, mentre il Nord è caratterizzato per lo più da canali a cielo aperto. Il Distretto Padano presenta il maggiore uso promiscuo della rete, per bonifica e irrigazione. Lo stato di conservazione delle tratte a cielo a cielo aperto dipende dalla manutenzione del fondo e delle sponde, mentre le tratte in pressione necessitano di ammodernamento, soprattutto per i sistemi costruiti negli anni settanta. Un cenno a parte merita il fatto che le grandi reti di canali del Nord hanno assunto in molte aree una funzione di ricarica della falda, oltre che paesaggistica e storica, costituendo un patrimonio architettonico e culturale istituzionalmente riconosciuto. Anche gli invasi del Sud e delle isole svolgono un ruolo attivo di oasi di aree ecologiche e ricreative, spesso con conservazione di specie migratorie protette e della biodiversità, divenendo anche delle vere e proprie oasi naturalistiche.

Per quanto riguarda l'evoluzione delle caratteristiche irrigue sul territorio, essa è

strettamente legata alle risorse finanziarie e agli strumenti di programmazione definiti e attuati nel settore irriguo a livello ministeriale e regionale.

#### BIBLIOGRAFIA

- ISTAT (2014), *6° Censimento nazionale dell'agricoltura, Utilizzo della risorsa idrica a fini irrigui in agricoltura*.
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI (2014a), *Rapporto preliminare ambientale della VAS del programma di Sviluppo Rurale Nazionale 2014-2020*.
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI (2014b), *Rapporto Ambientale Programma Sviluppo Rurale Nazionale*.
- COMMISSIONE EUROPEA (2012), *Piano per la salvaguardia della risorse idriche europee*.
- SIGEA (2017), *Lettera alle Autorità per la crisi idrica 2017, in Geologia dell'Ambiente n. 3*.
- ZUCARO R. (a cura di) (2011), *Atlante Nazionale dell'Irrigazione*, INEA, Roma.

#### SITOGRAFIA:

- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, <http://www.adbpo.gov.it/>
- DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE, <http://www.appenninosettentrionale.it/itc/>
- DISTRETTO IDROGRAFICO DELLE ALPI ORIENTALI, <http://www.alpiorientali.it/>
- DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO CENTRALE, <http://www.abdac.it/index.php/it/>
- DISTRETTO IDROGRAFICO APPENNINO MERIDIONALE, <http://www.ildistrettoidrograficodelappenninomeridionale.it/index.html>
- PIANO DI GESTIONE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO SICILIA, <http://www.osservatorioacque.it/?cmd=article&id=71&tpl=default>
- PIANO DI GESTIONE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO SARDEGNA, <http://www.regione.sardegna.it/speciali/pianogestionedistrettoidrografico/>

# Località Pastella del Comune di Sestri Levante: ricostruzione paleoambientale sulla base di dati emersi in fase di assistenza archeologica per intervento edilizio privato

## Pastella place, in Sestri Levante municipality: paleo-environmental reconstruction according to data recorded during archaeological assistance during private construction

Parole chiave (*key words*): Liguria Orientale (Eastern Liguria), geoarcheologia (*geoarchaeology*), SIT (GIS), analisi petrologica (*petrological analysis*), ricostruzione paleoambientale (*paleo-environmental reconstruction*)

### 1. INTRODUZIONE

Durante le fasi preliminare ed esecutiva per la costruzione di un ampio manufatto privato, è stato predisposto un intervento di assistenza archeologica durante il quale sono state possibili osservazioni geologiche dirette lungo limitate trincee di sondaggio e lungo gli scavi in esecuzione, nonché la raccolta di campioni da analizzare anche dal punto di vista petrologico.

Nel caso specifico il ruolo del geologo è stato di supporto a quello dell'archeologo (dott. Alberto Manfredi, titolare dell'assistenza archeologica) al fine di ricostruire l'originario assetto morfologico dell'area.

In questa sede verranno descritte le conclusioni condivise con l'archeologo, sintetizzate nella ricostruzione dell'evoluzione ambientale subita dall'area.

### 2. L'AREA DI STUDIO

L'area di indagine si localizza a margine della vasta pianura alluvionale originata dai torrenti Gromolo e Petronio in Comune di Sestri Levante (Liguria Orientale) che, in epoca storica, hanno subito profonde modifiche antropiche della geometria dell'alveo.

In particolare, il Torrente Petronio è stato incisivamente deviato in epoca precede alla metà del Seicento, trasferendone la foce dal golfo di Sestri Levante a quello di Riva Trigoso, mediante un'ampia curva ad angolo retto che scorre di fronte alla zona studiata.

La datazione di questo intervento è vagamente attestata dalla più antica cartografia storica nota in cui appare deviato, che è un particolare del progetto della ...*strada da ri-*

*storarsi da Sestri sino alla terra di Riccò o sia a confini di Parma per il suo ristoramento con tutta la spiaggia da Sestri di Levante sino a Vernazza...* di Stefano SCANIGLIA, redatta alla scala di circa 1:11.000 e datata alla seconda metà del XVII secolo (Archivio di Stato di Genova).

Oltre a questo, il modesto anfiteatro naturale che rappresenta la caratteristica forma morfologica locale, è stato insediato con colture specializzate già in epoca storica e, per razionalizzarne l'attività agricola, è stato anche oggetto di *miglioramento idraulico*.

Le alterazioni e le modifiche idrauliche eseguite emergono chiaramente dal raffronto delle diverse cartografie settecentesche conservate presso l'Archivio di Stato di Genova e, soprattutto, dalla comparazione fra il ...*Piano geometrico di Sestri Levante e di Tregosa coi loro contorni, ove sono compresi gli effetti del Signor Fieschi...* (cartografia di ANONIMO, forse di scuola Vinzoniana, datata alla metà circa del XVIII secolo a scala 1:4.000 circa) sul quale il reticolo locale appare ancora fortemente divagante in maniera naturale ed il ...*Tipo geometrico degli effetti di Trigosa del Sig. Fieschi con la distinta piazza di Tregosa, Riva e strade...* (ancora di ANONIMO, forse di scuola Vinzoniana, senza data, ma riferibile anch'essa alla seconda metà del Settecento e successiva alla precedente) sulla quale appare evidente la rettifica geometrica e la razionalizzazione del reticolo a scopo agricolo, con la costrizione dei piccoli alvei in canali.

La situazione ricondotta alle cartografie recenti è rappresentata in Fig. 2 come ottenuta mediante elaborazione *gis*.

MARCO DEL SOLDATO

Geologo, Istituto Internazionale di Studi Liguri ONLUS, Bordighera

Ispettore Onorario per la tutela dei beni monumentali e degli oggetti d'antichità e d'arte per le cavità carsiche della Liguria del Levante.

E-mail: marco.delsoldato891@gmail.com

Uno dei risultati sostanziali ottenuti in sede di elaborazione *gis* è che la quasi totalità degli argini settecenteschi del torrente Petronio evidenzia un'ottima sovrapposizione con i corrispondenti attuali, a significare che questi ultimi sono in gran parte corrispondenti a quelli realizzati fra il XVII ed il XVIII secolo al fine della deviazione del corso dell'alveo principale per portarlo a sfociare a mare nel lido di Riva Trigoso.

La regione Pastella (toponimo che nel tempo è stato modificato dal più antico e documentato Cheosella della seconda metà del Seicento, a Ciosella di epoca napoleonica, a Pestella e poi a quello odierno) è dominata, al suo confine meridionale, dalla Villa Fieschi costruita alle pendici del Passo del Bracco nel 1270 per volere di Ottobono Fieschi che, eletto papa col nome di Adriano V, resse brevissimamente il soglio pontificio dall'11 luglio 1276 al 18 agosto di quello stesso anno.

Nel XIII secolo, i Fieschi vantavano ampi possedimenti agrari nella regione di Trigoso che si estendevano sia sulle aree pianeggianti poste nella piana del torrente Petronio, che sulle colline di Trigoso.

L'aspetto attuale dell'edificio è molto più tardo, settecentesco, e rappresenta la trasformazione della più antica preesistenza. Ed è proprio in ragione della vita di questa villa storica che sono state operate le modifiche ambientali al reticolo idraulico minore per renderlo più conforme alla conduzione agricola specializzata.

Differentemente è stata motivata, invece, la radicale modifica al corso del torrente Petronio, imposta per risanare le aree

paludose residuali dell'ampia pianura e, allo stesso tempo, indurre un improbabile tentativo di messa in sicurezza dagli eventi alluvionali. Quest'ultimo obiettivo però non fu raggiunto, ma neppure con interventi successivi, come conferma il vigente Piano di Bacino che classifica ancora a rischio idraulico elevato e molto elevato vaste aree marginali alla porzione terminale del corso del torrente Petronio.

campioni, quindi interne dei manufatti) o con presenza di frustoli carboniosi come incrostazioni superficiali.

In un caso la superficie esterna è apparsa percorsa da numerose striature fra loro subparallele concentrate preferibilmente lungo una fascia limitata, posta al passaggio fra la parte piana ed il bordo rialzato. In genere è stato possibile riconoscere rari fenocristalli di calcite, plagioclasio e pirosseni. Occasio-

Dal punto di vista geologico il *bed rock* è costituito dalla Formazione degli Scisti Zonati della Forcella (Campaniano superiore) del Gruppo della Val Lavagna, costituita da torbiditi siltoso-arenacee in strati sottili con rari strati di marne localmente anche di spessore notevole.

La sequenza presenta una fase regolitica superficiale di discreta potenza. Poco più a monte questa formazione si trova a contatto

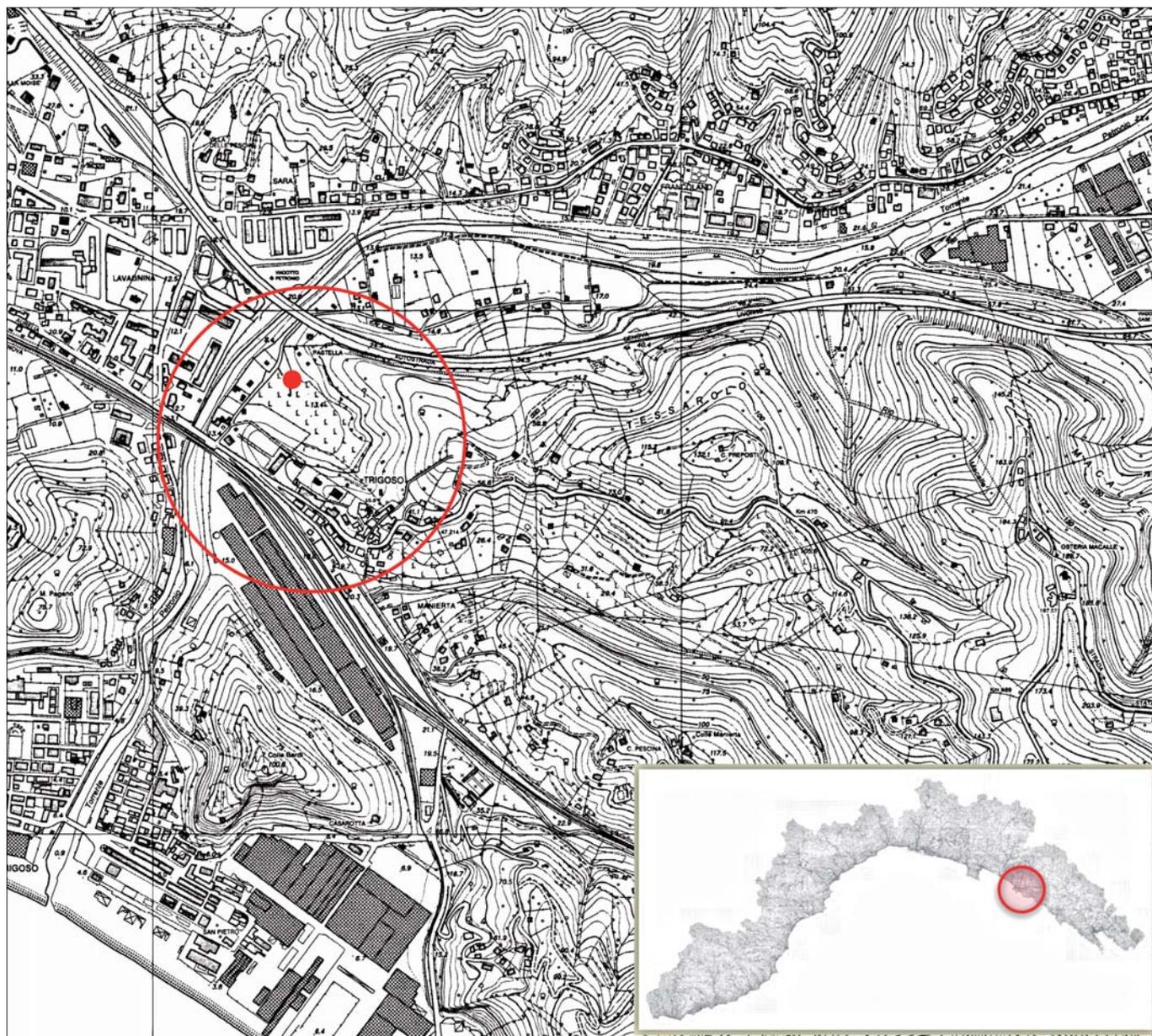


Figura 1 – Localizzazione dell'area di intervento (pallino rosso) in località Pastella (nel cerchio rosso) del Comune di Sestri Levante (Genova). Base topografica: CTR Liguria foglio 232100 a scala 1:10.000

### 3. ANALISI PETROLOGICA SU ALCUNI CAMPIONI CERAMICI RINVENUTI

I campioni studiati sono sostanzialmente frammenti di ceramica arcaica ad impasto molto grezzo di terra di gabbro, rappresentato da una pasta di fondo irrisolvibile anche a microscopio con scheletro eterodimensionale ed eterogeneo. I frammenti sono palesemente fluitati, di colore bruno-rossiccio, localmente anneriti (l'annerimento più evidente si manifestava soprattutto nelle parti concave dei

nalmente sono stati riconosciuti elementi inquinanti, quali filamenti di crisotilo e microgranuli molto elaborati di diaspro.

### 4. EVOLUZIONE AMBIENTALE

Le stratigrafie emerse in fase di scavo evidenziano come l'anfiteatro morfologico della Pastella fosse, in origine, una valle di erosione fluviale modellata direttamente nel substrato disposto in rapporti di generale franapoggio rispetto all'andamento del versante.

con le Argilliti di Gaiette (Paleocene) rappresentate da argilliti policrome fortemente fogliettate, con strati da medi a sottili di quarzoareniti fini, più rari frammenti di strati di calcilutiti e pacchi di strati di Argille a Palombini (Carta Geologica Regionale della Liguria -CARG- Tavola 232.3 Sestri Levante a scala 1:25.000).

L'immagine di Fig. 3 rappresenta due sezioni verticali (indicate nel riquadro) fra loro parallele e poste a breve distanza una dall'al-

tra, la prima (sezione 1) in corrispondenza della palificata di monte e la seconda (sezione 2) in corrispondenza del gradino compreso fra la soletta di cemento ed il piano inferiore in terra. La loro vicinanza e continuità consente una visione pseudo-3D su due piani paralleli disassati di pochi metri.

Si evidenzia quindi la presenza dell'originaria valle di erosione fluviale (affluente dell'attuale alveo modificato antropicamente

ducendo l'incisione più ampia e profonda in primo piano.

L'andamento dell'originario alveo che ha prodotto la valle erosiva, ricostruito in Fig. 3, è indicato dalla linea discontinua di colore verde (rappresentato in vista pseudo-3D ombreggiata).

Come evidente, non è stato scoperto l'apice della valle di erosione, ma è stato solo indicato come prosecuzione geometrica

lateralmente sfuma a tonalità più scure (B2 di Fig. 3) per ossidazione in condizioni subaeree.

Questo orizzonte, soprattutto la facies B1, ha riempito quasi completamente la valle di erosione in condizioni molto omogenee, non distinguendo al suo interno strutture sedimentarie che documentino fasi successive e/o variazioni verticali, composizionali e/o granulometriche. Sembrerebbe un riempimento prodottosi in un tempo molto breve

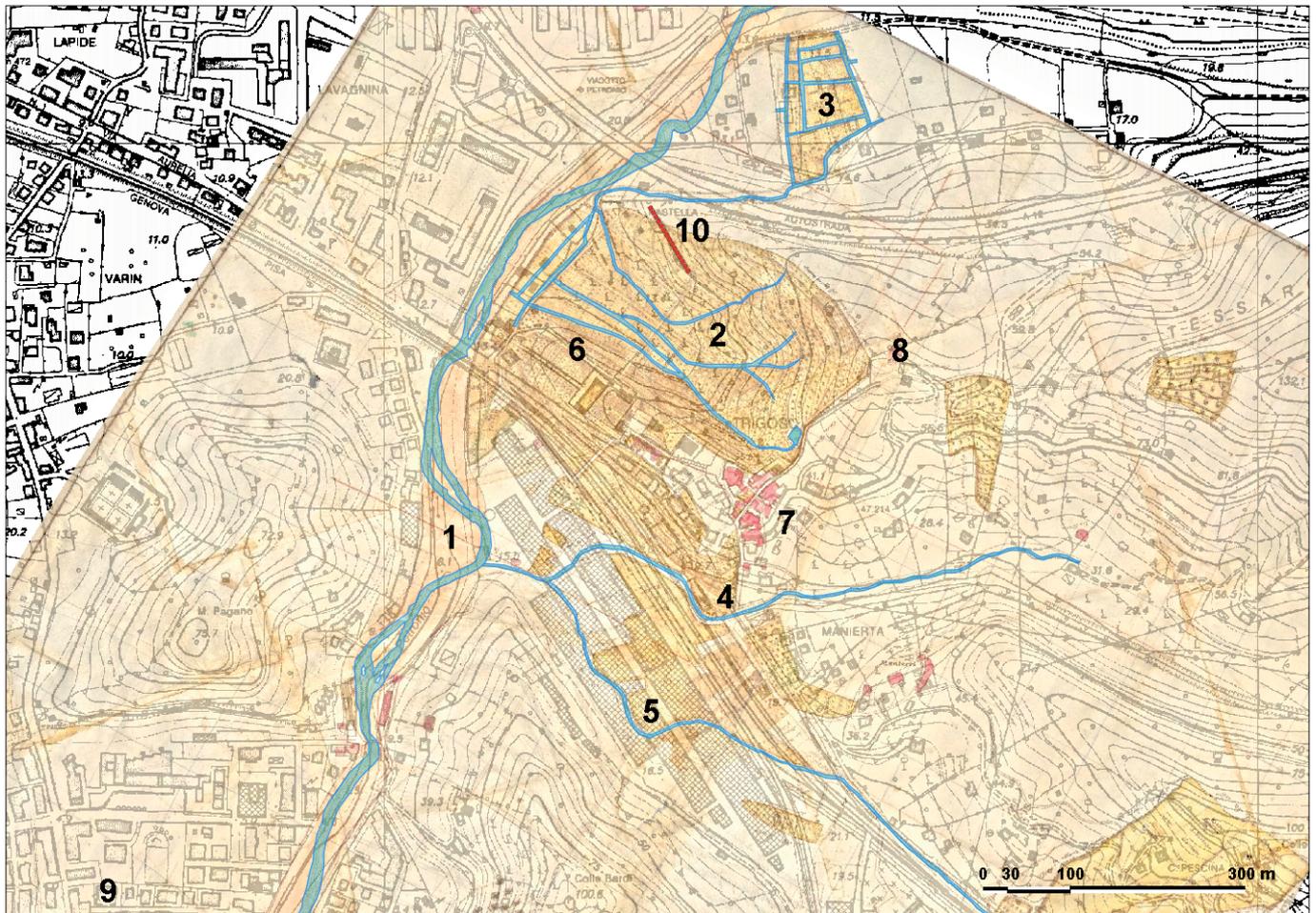


Figura 2 – Trasposizione del reticolo idrografico secondario locale, originale, e della rettifica dell'alveo del torrente Petronio ottenuta mediante elaborazione GIS (sistema QGIS) dalle cartografie storiche, ricondotte su base topografica aggiornata. Legenda: 1 (azzurro) = alveo del torrente Petronio a seguito della rettifica antropica; 2 (blu) = alvei secondari rettificati e/o creati a scopo agricolo nell'area Pastella; 3 (blu) = alvei secondari artificiali agricoli in altro lotto; 4 = Torrente Trigoso; 5 = Torrente Maniarta; 6 = Villa Fieschi; 7 = località Trigoso; 8 = Probabile area di scarico del materiale fluitato, rinvenuto nei sondaggi e negli scavi; 9 = località Riva Trigoso; 10 (linea rossa punteggiata) = palificata a monte dell'intervento edilizio (che compare di sfondo in Figura 3).

Base topografica: CTR Liguria foglio 232100 a scala 1:10.000 (equidistanza isoipse 5 metri). In trasparenza: particolare georeferenziato del...Tipo geometrico degli effetti di Trigosa del Sig. Fieschi con la distinta piazza di Tregosa, Riva e strade... di Anonimo, citato nel testo.

del Torrente Petronio) delimitata dalle linee a triangoli verdi, per la parte esposta in sezione, e dai piccoli quadrati verdi per la parte supposta in profondità, che appare da molto angusta ed appena accennata dietro la palificata (sezione 1) a molto più ampia e profonda in corrispondenza dello scavo non protetto in primo piano (sezione 2). Il culmine della valle erosiva è ancora interrato al di sotto del piano di scavo a quota inferiore.

In particolare nella parte più a monte i versanti esterni alla valle erosiva appaiono dolci ed ondulati, mentre l'incisione vera e propria è poco profonda. Si può immaginare un fenomeno erosivo distribuito lungo il versante che si è poi convogliato a valle pro-

dell'andamento esposto sulla sezione 1 e sulla sezione 2.

Tuttavia, un approfondimento locale dello scavo, esternamente alla sezione rappresentata, ha evidenziato che al di sotto del piano di calpestio-fondazione inferiore è presente un sedimento fine grigiastro, argilloso, riconducibile ad una originale area paludosa-sartumosa che pare estendersi in direzione del prospiciente torrente Petronio e che potrebbe essere riconducibile al margine estremo dell'ampia area paludosa di età Atlantica (6-8 K anni fa) ricostruita in Fig. 4.

In un secondo momento la valle di erosione si sarebbe riempita di materiale fine, terrogeno, di colore marrone-ocra (B1 di Fig. 3) che

(*mud flow*) oppure, ma meno probabilmente, in condizioni di alimentazione molto costante nel tempo.

Ricordiamo che questo fenomeno di riempimento (veloce o lento che sia stato) si è riversato nella prospiciente pianura alluvionale, a margine delle aree sartumose.

La valle così riempita sarebbe stata, successivamente, di nuovo erosa, ma in condizioni meno aggressive che in precedenza, lungo l'alveo indicato dalla linea tratteggiata ocra (rappresentato in vista pseudo-3D ombreggiata di Fig. 3) che avrebbe prodotto la valle di erosione indicata dai triangoli di analogo colore, tanto da asportare in maniera solo parziale il precedente orizzonte B. La minore

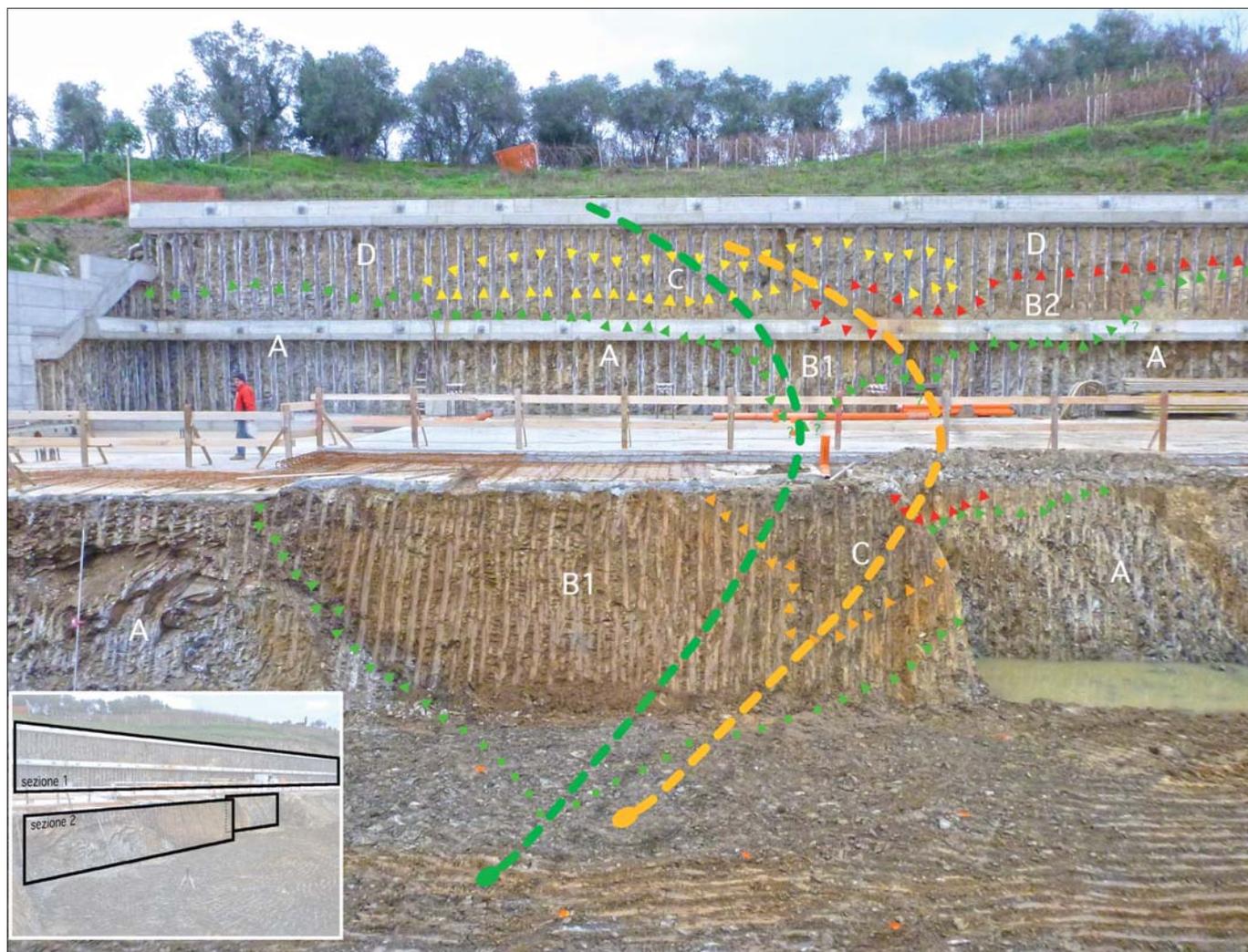


Figura 3 – Ricostruzione dell'evoluzione paleoambientale della regione Pastella. Legenda: A = bed rock; triangoli verdi = valle di erosione fluviale esposta sulle sezioni 1 e 2; quadrati verdi = supposto prolungamento in profondità della valle di erosione fluviale; B1 = prima fase di riempimento della valle di erosione, B2 = parte superficiale dello stesso riempimento, ma che ha subito esposizione subaerea; triangoli rossi = limite fra i livelli B1 e B2; triangoli ocra = valle di erosione di seconda fase inserita nel deposito B; C = seconda fase di riempimento; D = livello di ricoprimento recente- terreno agricolo

aggressività del fenomeno erosivo potrebbe essere stata indotta da una minore acclività dell'alveo e/o da un'azione di breve (o più breve) durata.

In seguito, ed ancora una volta, la valle di erosione sarebbe stata ricolmata da materiale fine, marrone scuro, fino a nero, colluviale (orizzonte C di Fig. 3) presente anche a monte lungo la sezione della palificata dove appare disteso sull'orizzonte B (B1 e B2, separati dalla linea a triangoli rossi di Fig. 3) con spessore modesto (20-30 cm), andamento continuo e suborizzontale, lievemente ondulato, con presenza di radici e rarissimi frammenti di laterizi.

L'orizzonte C sembrerebbe aver rappresentato un piano di frequentazione o, più realisticamente, il deposito del materiale eroso da un piano di frequentazione presente più a monte nel piccolo bacino idraulico, poiché al suo interno sono stati raccolti i diversi frammenti di ceramica arcaica di produzione locale da terra di gabbro, evidentemente fluitati (alcuni dei quali analizzati e descritti al paragrafo 3), ed un paio di frammenti fittili di epoca romana (MANFREDI, *pers. comm.*).

L'area di possibile provenienza di questo materiale è ipotizzabile, sulla base della morfologia di monte e dell'evocativa presenza di frammenti di marmi antichi anche lavorati ed incastonati in alcune murature dell'abitato di Trigoso, lungo la porzione di crinale che dall'abitato risale in direzione del Passo del Bracco (punto 8 di Fig. 2).

### 5. CONCLUSIONI

I risultati dell'indagine geologica eseguita hanno consentito di ricostruire le fasi dell'evoluzione dell'area di Pastella da quando era caratterizzata da un'angusta e limitata valle erosiva incipiente sull'ampia area paludosa atlantica di fondovalle, a quando, ricolmatasi, reincipisa e nuovamente sovralluvionata, ha rappresentato la possibilità della presenza di suoli di frequentazione, se non proprio di insediamento, presenti più a monte.

L'area indiziata di tali possibili frequentazioni è apparsa quella di crinale che dall'abitato di Trigoso risale verso le pendici del Passo del Bracco, per altro via di transito storica e di grande frequentazione dall'antichità fino alla realizzazione dell'autostrada Genova – Livorno.

È soprattutto questa l'indicazione che ha destato il maggiore interesse per un possibile ampliamento ed approfondimento delle potenzialità archeologiche dell'area soprattutto estesa a monte.

### BIBLIOGRAFIA

- CAMPANA N., CHELLA P. (in stampa, Sestri Levante), *Tracce di frequentazione preistoriche nell'area- le costiero compreso tra Punta Manara e Punta Moneglia*.
- CAMPANA N., DAVITE C. (in stampa), *Riva Trigoso – Ponte sul Petronio (Sestri Levante – GE)*, in *Archeologia in Liguria, n.s., Vol. VI, 2014-2016*, a cura di CONVENTI M., DEL LUCCHESI A., GARDINI A., Genova.
- CAMPANA N., DEL SOLDATO M., VIARENGO G. (2015), *Sestri Levante. Via Emilia*, in *Archeologia in Liguria, n.s., Vol. V, 2012-2013*, Genova.
- CAMPANA N., LANDI S., TISCORNIA I. (2015), *Sestri Levante. Via Antica Romana Occidentale*, in *Archeologia in Liguria, n.s. Vol. V, 2012-2013*, Genova.
- CAMPANA N., MANFREDI A., SCIAMANNA F. (in stampa), *Verifiche archeologiche nei terreni di proprietà azienda agricola Bisson-indagini archeologiche 2015*, in *Archeologia in Liguria, n.s. Vol. VI, 2014-2016*, Genova.

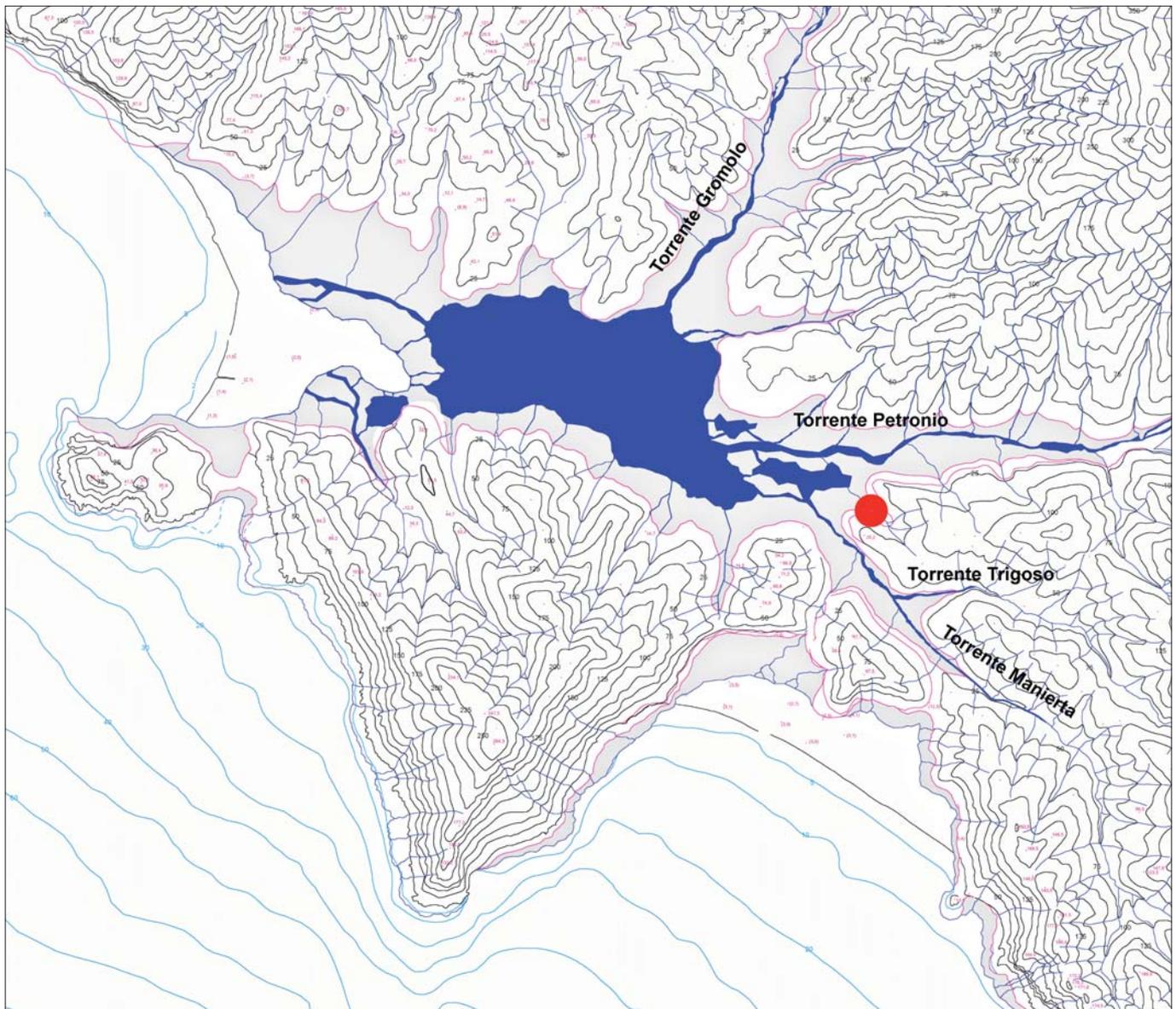


Figura 4 – La località Pastella in relazione alla ricostruzione dell'ambiente e della palude di età atlantica (DEL SOLDATO M., 2013). Legenda: blu = la grande area paludosa ed altre marginali inferiori, alimentate dai paleocorsi dei torrenti Gromolo e Petronio; grigio = aree di pianura alluvionale o litorali; pallino rosso = localizzazione dell'intervento (Pastella)

- CAMPANA N., NEGRINO F. (2013), *Evidenze di occupazione preistorica in alta Val Gromolo (Sestri Levante – GE)*, in *Archeologia in Liguria*, n.s. Vol. III, 2008-2009, Genova.
- CAMPANA N., SPADEA G., TORRE E. (2013), *Via Fascie (Sestri Levante in Archeologia in Liguria, n.s. Vol. IV, 2010-2011)*, Genova.
- CAMPANA N., DE STEFANIS A., DE STEFANIS P., GIROD A., GUIDO M.A., MENOZZI B.I., MONTANARI C., OTTOMANO C. (2008), *Area ex Fit (Sestri L.)*, in *Archeologia in Liguria*, n.s., vol. I, 2004-2005, Genova 2008.
- DEL LUCCHESI A., MAGGI R. (a cura di) (1998), *Dal diaspro al bronzo. L'Età del Rame e l'Età del Bronzo in Liguria: 26 secoli di storia fra 3600 e 1000 anni avanti Cristo*, in *Quaderni della Soprintendenza Archeologica della Liguria*, n. 5, La Spezia.
- DEL SOLDATO M. (2013), *La valle di Sestri Levante fra l'Olocene e l'età romana: ricostruzioni paleo ambientali*, in *Archeologia in Liguria*, n.s. Vol. IV, 2010-2011, Genova, tavv. XXVIII-XXIX.
- DEL SOLDATO M., OTTOMANO C. (2013), *Lo studio geologico*, in *Archeologia in Liguria*, n.s. Vol. IV, 2010-2011, Genova.
- MAGGI R., VIGNOLO M. R., *Libiola*, in *Archeologia in Liguria III. 1. Scavi e Scoperte 1982-1986*, Genova.
- MANNONI T. (1983), *Insedimenti poveri nella Liguria di età romana e bizantina*, in *Rivista di Studi Liguri*, XLIX.
- MANNONI T. (2000), *Trent'anni di archeologia in Liguria. Il problema dei Liguri, in Canegrate/Liguria. Cultura materiale ed ambiente dalla media età del Bronzo all'età del ferro nel levante ligure*, in *I Quaderni della Massocca 2000*.
- MURATORI L.A. (1738), *Rerum Italicarum Scriptores*, T. XI, Roma.
- PINZI C. (1889) *Storia della Città di Viterbo*, Tip. Camera dei Deputati, Roma.
- ROBIN F. (2012), *Sestri Levante. Un borgo della Liguria genovese nel XV secolo (1450-1500)*, Sestri Levante.
- SALARIS V. (in stampa), *Sestri Levante – Via della Chiesa in Archeologia in Liguria, n.s. Vol. VI, 2014-2016*, Genova.
- UGGERI G. (2006), *I porti del Mediterraneo in età classica*, Atti del V Congresso di Topografia Antica (Roma 2004), in *Rivista di Topografia Antica XVI*.
- CARTOGRAFIE STORICHE**  
Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 2: STEFFANO SCANGLIA, *Strada da ristorarsi da Sestri sino alla terra di Riccò o sia a confini di Parma per il suo ristoramento con tutta la spiaggia da Sestri di Levante sino a Vernazza* (sec. XVII seconda metà). Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 16: probabile scuola vinzoniana, *Piano geometrico di Sestri Levante e di Tregosa coi loro contorni, ove sono compresi gli effetti del Signor Fieschi* (sec. XVIII metà circa). Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 267: probabile Scuola Vinzoniana, *Tipo geometrico degli effetti di Trigosa del Sig Fieschi con la distinta piazza di Tregosa, Riva e Strade*. (sec. XVIII seconda metà). Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 5: Matteo VINZONI: *Sestri, fiume Gromolo e strada sino in Centocroci* (1763 nov.). Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 9/1: MEILLAC, *Section I de Trigoso. En une Feuille. Levée par M.r Meillac Geomètre de Ire Classe* (ca. 1805-ca. 1813) Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 9/2: Anonimo, *Section I de Trigoso. En une feuille* (ca. 1805-ca. 1813) Archivio di Stato di Genova, Cartografia storica, 9/3: Anonimo, *Section I de Trigoso. En une feuille* (ca. 1805-ca. 1813).

# Acque sotterranee e periodicità di ridotte precipitazioni in Umbria

## Groundwater and periodicity of reduced rainfall in Umbria

ROBERTO CHECCUCCI  
Regione Umbria  
Servizio Risorse idriche e rischio idraulico, Perugia  
E-mail: rcheccucci@regione.umbria.it

Parole chiave (*key words*): acque sotterranee (*groundwater*), precipitazioni (*rainfall*), siccità (*drought*), Umbria

Il ripetersi negli anni dell'attuale situazione di scarsità di precipitazione in molte aree d'Italia e dell'Umbria risulta essere ormai una prospettiva statisticamente consolidata, con un incremento nel tempo dei periodi siccitosi collegabile ai cambiamenti climatici in atto.

Tale fenomenologia si esplica essenzialmente con una maggiore ricorrenza degli eventi estremi comportando da una parte un elevato incremento delle precipitazioni intense, e dall'altra un'alternanza di periodi siccitosi che possono prolungarsi anche per più anni consecutivi.

Gli effetti di una periodicità dei periodi di ridotte precipitazioni può essere verificato con l'analisi delle variazioni dei livelli piezometrici e del decremento delle portate delle sorgenti.

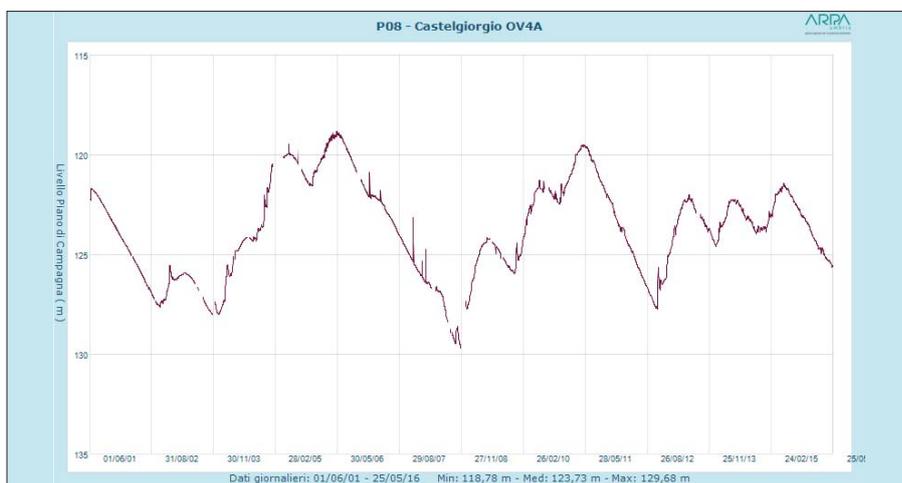
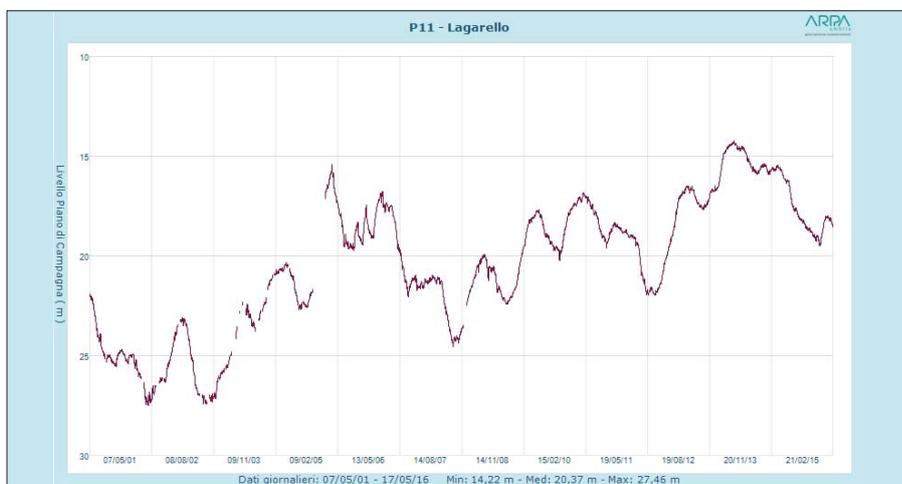
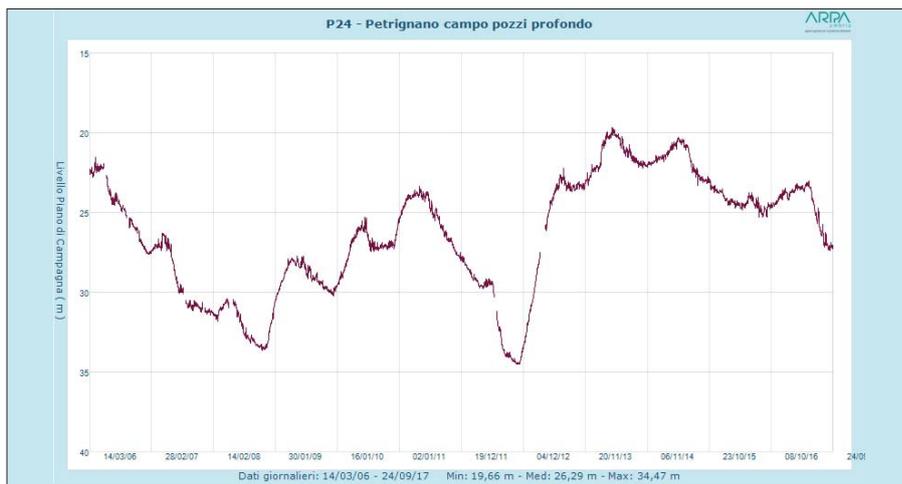
In tal senso vengono riportati di seguito alcuni grafici che illustrano, per i principali sistemi acquiferi presenti nel territorio della Regione Umbria, sulla base dei dati della rete regionale in continuo installata dall'ARPA regionale, il verificarsi negli anni dell'occorrenza di periodi siccitosi negli anni 2002-2007-2012 e 2017 che hanno comportato il rilevante decremento dei livelli piezometrici e delle portate delle sorgenti.

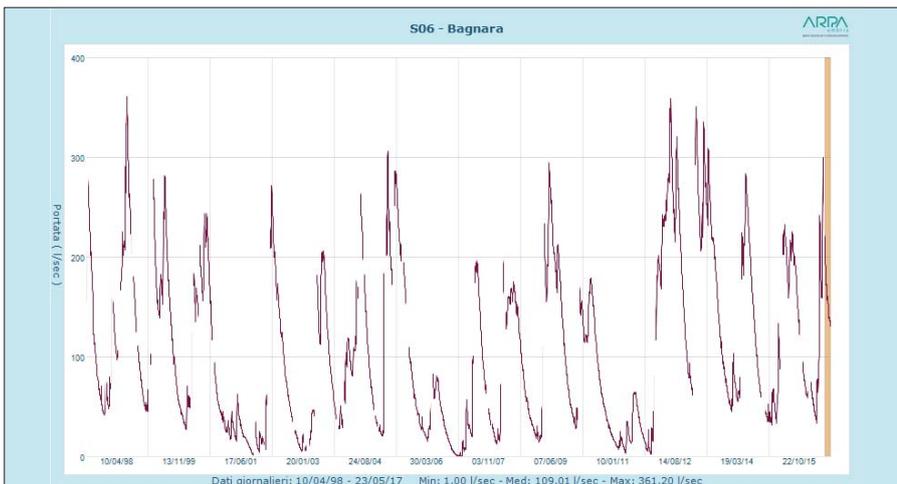
Per gli acquiferi alluvionali sono visualizzati di seguito i grafici della serie storica dei livelli piezometrici relativi ai pozzi di Petignano per l'acquifero della Valle Umbra e Lagarello per quello della Conca Ternana.

Per l'acquifero vulcanico Vulsino, ubicato al confine tra Umbria e Lazio, si riportano di seguito i livelli piezometrici del pozzo di Castelgiorgio.

Per rappresentare le situazioni dei sistemi acquiferi carbonatici, di estrema rilevanza sia per l'Umbria che in generale per tutto l'Appennino Centrale, si riportano i grafici relativi ad un piezometro profondo 300 m, ubicato nella struttura del Monte Subasio denominato Valle del Renaro e la sorgente di Bagnara in prossimità del confine regionale tra Umbria e Marche.

Sulla base di tali evidenze del decremento periodico dei livelli piezometrici e delle portate delle sorgenti, si è esaminata la distribuzione





delle precipitazione per la stazione di Perugia, per la quale si hanno a disposizione i dati a partire dagli anni 20, per correlare tali valori di precipitazione con la variazioni dei livelli piezometrici e delle portate delle sorgenti.

Si è considerata la stazione di Perugia in quanto, oltre che ad avere una serie storica molto ampia di dati, può essere considerata abbastanza rappresentativa delle medie di precipitazioni in Umbria, fatto salvo che un esame completo

dovrebbe chiaramente valutare l'insieme delle stazioni disponibili nel territorio regionale.

Si è scelto di esaminare le precipitazioni nel periodo ottobre-aprile in quanto quello più indicativo per la ricarica delle falde, si è pertanto rappresentato il rapporto di correlazione tra le precipitazioni di ottobre-dicembre con quelle complessive da ottobre ad aprile di ogni anno.

Come si può notare nel relativo grafico di seguito esposto si verifica una estrema corri-

spondenza tra i valori di precipitazioni inferiori ai 450 mm, nel periodo ottobre-aprile, con le condizioni di criticità delle acque sotterranee per gli anni 2002-2007-2012 e 2017, come illustrato nei grafici sopra riportati quale parziale rappresentazione di una più ampia valutazione effettuata su tutta la rete di misura in continuo disponibile.

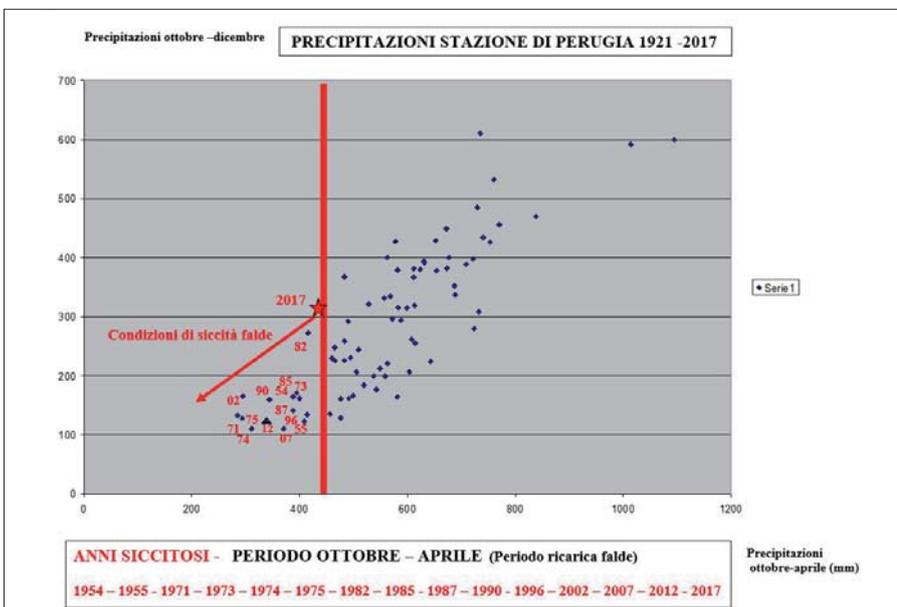
Tale soglia di precipitazione, intorno ai 450 mm, viene pertanto ritenuta significativa di condizioni di criticità per le acque sotterranee e nel grafico sono pertanto indicati tutti gli anni dove, pur non avendo dati di monitoraggio in continuo delle acque sotterranee, si ritiene che si sono verificate in tal senso condizioni critiche.

Ulteriore elemento che si è verificato con l'esame delle precipitazioni è che la loro sommatoria, nell'arco temporale di ottobre-aprile, rimane periodicamente pressoché costante negli anni e di conseguenza ad anni con periodi molto piovosi, con un incremento degli eventi estremi, seguono anni siccitosi. La sequenza di precipitazioni degli ultimi anni conduce a presupporre che anche per il prossimo periodo ottobre-aprile 2017/2018, come si è già registrato nel periodo 2001/2003 con due anni consecutivi di precipitazioni ridotte, si avranno probabilmente per la stazione di Perugia precipitazioni al di sotto dei valori critici intorno ai 450 mm.

Si può concludere che l'esame degli idrogrammi dei livelli di falda e delle portate delle sorgenti confrontati con le precipitazioni, nel periodo temporale compreso tra ottobre e aprile, testimoniano di come sia in atto una ricorrenza di periodi a ridotta precipitazione, che comportano un notevole decremento delle risorse idriche sotterranee disponibili in Umbria.

Risulta inoltre possibile il ripetersi per più anni consecutivi di una riduzione nel periodo ottobre-aprile delle precipitazioni sotto soglie critiche ed è valutabile che questo possa accadere anche per il prossimo periodo 2017/2018, aggravando l'attuale stato di emergenza idrica che interessa il territorio regionale.

Tali elementi indicativi di analisi delle precipitazioni considerando non l'intero anno solare ma il periodo ottobre-aprile, che è l'arco temporale di principale alimentazione dei sistemi idrici sotterranei in Umbria, correlate con le serie storiche dei dati delle portate delle sorgenti e dei livelli piezometrici, permettono di verificare dei valori soglia di precipitazioni ed evidenziare una periodicità degli eventi siccitosi (in termini di ricarica delle falde). Queste prime osservazioni dovranno essere oggetto di un'analisi statisticamente più dettagliata, sull'insieme delle stazioni pluviometriche presenti in Umbria, che possa permettere di valutare il riscontro a più ampia scala e con maggiore confidenza tale correlazione.



# Petra. Un meraviglioso intrigo di misteri

PAOLO MALAGRINÒ  
Geologo e archeologo della preistoria  
E-mail: paomalag@tin.it

## Petra. A wonderful intrigue of mysteries

Parole chiave (*key words*): Giordania (*Jordan*), acqua (*water*), alluvioni (*floods*), arenaria (*sandstone*), sculture architettoniche (*architectural sculptures*), tombe monumentali (*monumental tombs*), leggende arabe (*arabic tales*)

Considerata una delle sette meraviglie del mondo moderno (2007), riconosciuta dall'UNESCO patrimonio mondiale dell'umanità (1985) Petra, la città Rosa, la capitale degli antichi Nabatei, pone una serie di interrogativi ai quali archeologi, geologi, tecnici vari, pur con tanto impegno e applicazione di differenziate competenze e tecnologie specifiche, non sono riusciti a dare risposte ma solo una serie di ipotesi in quanto molti aspetti di Petra rimangono insoliti.

Situata nella Giordania meridionale, nell'ambiente arido e alquanto impervio del Wadi Rum, l'area archeologica di Petra è stata morfologicamente definita dalla tettonica della Rift Valley in quanto parte marginale del complesso di faglie, ancora attivo, del non distante Mar Morto.

Petra, conosciuta nell'antichità come città ricca ma misteriosa secondo la descrizione di autori classici come Strabone, Diodoro Siculo, Plinio, anche se sembra essere sorta quasi d'improvviso lascia intravedere un piano urbanistico ben delineato. Le tante soluzioni tecniche utilizzate, decisamente funzionali e apparentemente sofisticate, infatti, non possono essere frutto di interventi e aggiustamenti successivi per tamponare questo o quel problema ma piuttosto appaiono come la realizzazione di una pianificazione ben delineata e portata a compimento nei minimi dettagli.

### 1. LA STORIA

Petra, che deve il nome "pietra" ai Greci, sorge, intorno al VII-VI sec., ad opera dei Nabatei, popolazione nomade del deserto, dedita al commercio di incenso, mirra, seta, olii aromatici e altre spezie che provenivano in massima parte dall'attuale Yemen e dall'India. Le merci, trasportate da carovane di cammelli e asini attraverso il deserto, arrivavano ai porti del Mediterraneo di Gaza e ai più lontani porti fenici di Sidone e Tiro, da dove erano destinate al commercio con l'Egitto, la Grecia e Roma. Il commercio procurò enormi ricchezze ai Nabatei che utilizzarono per edificare Petra. Non è chiaro il motivo che spinse i nomadi a crearsi dal nulla una città; probabilmente le

esigenze delle carovane richiedevano un luogo di sosta e di ristoro o fors'anche esigenze politiche determinarono la necessità di una sede amministrativa, di una capitale per la Nabatea.

Il luogo scelto rimane comunque sorprendente: decisamente impervio, arido, all'interno di una strettissima gola che però aveva il grande vantaggio di essere facilmente difesa a fronte di tante difficoltà. Ancora oggi le sole

due vie di accesso sono quelle naturali utilizzate sin dalle fasi iniziali.

Quando i Nabatei si insediarono a Petra erano un popolo di cultura nomade proveniente dall'interno della penisola arabica che, evidentemente, con il commercio e la frequentazione di mondi culturali molto differenti situati nel Mediterraneo e nella penisola indiana avevano avuto modo di conoscere realtà urbanistiche e architettoniche che

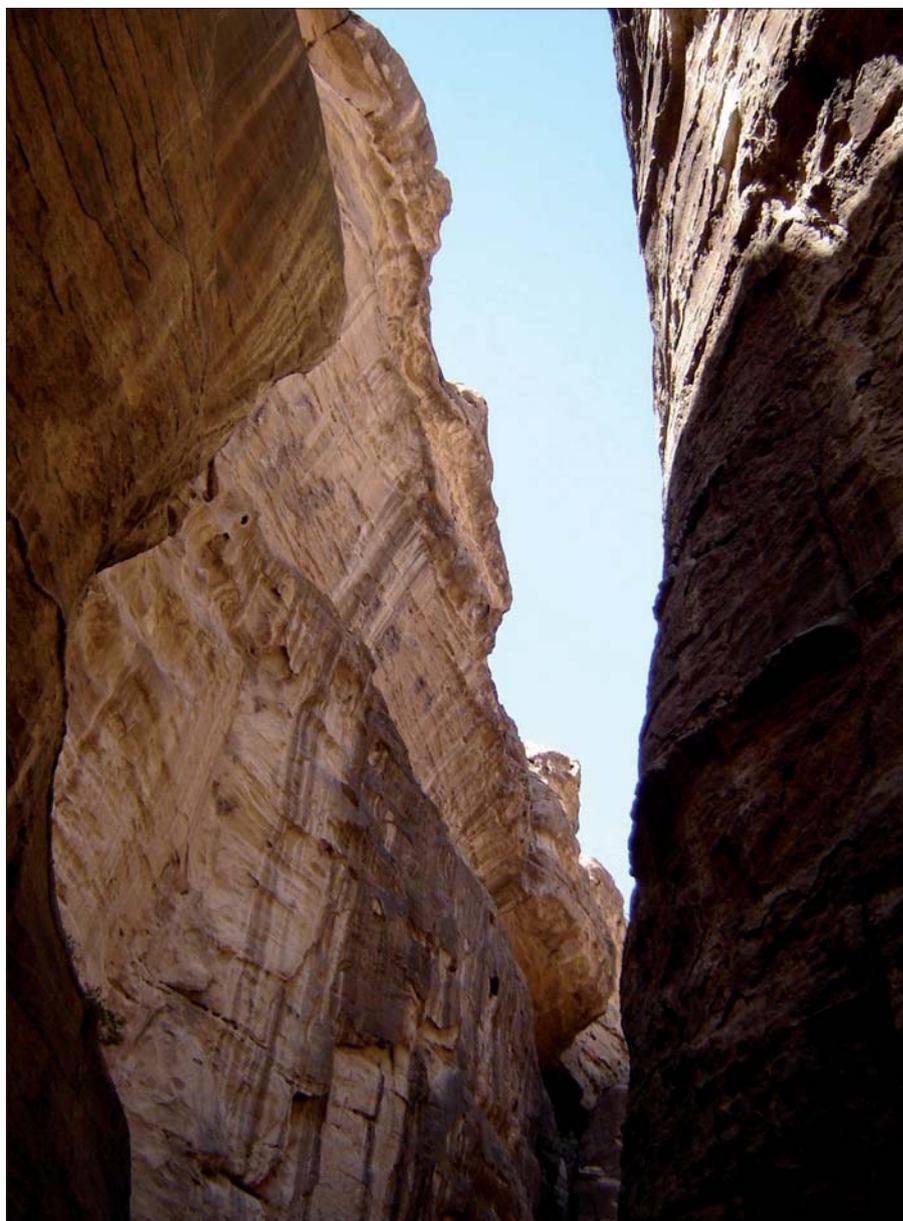


Figura 1 – Attraversando il siq le alte pareti di arenaria mostrano i segni evidenti del dilavamento



Figura 2 – Elementi architettonici e decorazioni abrase dal vento e dalle acque

mutuarono e trasformarono con creatività e ingegnosità. Infatti Petra si caratterizza per la presenza di architetture e decorazioni provenienti da Oriente e da Occidente. In alcuni casi gli edifici, le tombe, le decorazioni, i capitelli, le colonne, gli ampi spazi sociali appaiono di ispirazione greca e romana mentre in altri portano l'impronta e l'aria dell'India dei Fenici e dei Babilonesi. Il risultato è uno stile specifico di notevole significato che, in definitiva, rappresenta la cifra identificativa di quell'*unicum* che è Petra.

Tra I sec. a.C. e I d.C. la città raggiunse il massimo splendore e la massima potenza avendo esteso il proprio dominio verso nord fino a Damasco mentre a sud si era ampliata verso il Sinai e il Negev. Con il governo centralizzato nella capitale, in forma di monarchia, finivano per confluire a Petra enormi ricchezze e il livello di vita era decisamente elevato sia culturalmente che tecnicamente in pieno deserto giordano.

Al tempo della sua massima espansione si calcola che Petra potesse contare una popolazione di circa 30.000 abitanti a cui bisognava provvedere con il bene più necessario e che mancava: l'acqua.

## 2. L'ACQUA

Per l'approvvigionamento dell'acqua i Nabatei realizzarono qualcosa di incredibile. Creando delle vere e proprie condotte portarono a Petra l'acqua da un'oasi distante circa otto chilometri (Ain Musa, la fonte di Mosè) e individuaronero e utilizzarono un certo numero di falde sotterranee. Acqua quindi in abbondanza che con una rete idraulica ramificata e sotterranea, costruita pertanto prima della edificazione delle abitazioni e delle strade, frutto di una attenta pianificazione, serviva i

vari quartieri. Petra sorge in pratica sul percorso naturale di letti fluviali, conosciuti come wadi, abitualmente in secca ma che con le brevi ma intense piogge stagionali, in media un paio all'anno, convogliano improvvisamente e rapidamente enormi quantità d'acqua capaci di creare problemi anche gravi. Le cronache ricordano che una improvvisa quanto rapida e violenta alluvione negli anni '60 provocò una ventina di morti tra i visitatori. I Nabatei lungo i letti dei wadi avevano creato delle dighe di contenimento quasi tutte scomparse, che sono state ben individuate grazie alle tracce per gli ancoraggi scavati nelle rocce. Così, oltre a proteggersi, i Nabatei crearono una ulteriore riserva di acqua che permetteva alcune coltivazioni, anche ornamentali, fontane e piscine.

Per chi veniva da lunghe traversate nel deserto doveva essere un vero paradiso!

Gli archeologi ancor oggi sono impegnati anche nella ricostruzione degli antichi sbarramenti per evitare possibili pericolose



Figura 3 – Resti delle canalizzazioni per la raccolta e la distribuzione dell'acqua



Figura 4 – Un rigoglioso canneto segnala tutt'ora la presenza di acqua

alluvioni, essendo rimasta sostanzialmente invariata la morfologia dell'area archeologica, meta di numerosi visitatori.

Lungo le pareti del siq sono ancora ben visibili le lunghe canalizzazioni per lo scorrimento delle acque, in parte scoperte e in parte all'interno di condotte in argilla.

### 3. LA PIETRA

Petra è formata di arenaria risalente al paleozoico (fine del Cambriano) a grana sottile e uniforme, derivante da sedimentazione fluviale; irregolari conoidi di deiezione sovrapposti, creati da vari corsi d'acqua i cui letti sono ancora parzialmente riconoscibili. Durante il lungo processo di diagenesi

te diviso in due parti la montagna. In questo canale si è insediato un corso d'acqua che ha inciso profondamente la gola che oggi presenta pareti laterali verticali la cui altezza è mediamente compresa tra i 100 e 150 metri, con punte massime vicino ai 200 metri. Gli effetti dell'azione combinata dell'erosione prodotta dal dilavamento delle acque e dell'azione abrasiva del vento, resa più incisiva dalla componente sabbiosa, sono ben visibili sulle superfici tormentate e anche le decorazioni scolpite dai Nabatei si presentano abrasi e levigate dall'azione erosiva, una azione erosiva che per essersi sviluppata in tempi storici, molto più brevi degli abituali tempi geologici, lascia intuire l'intensità di tali fenomeni.

greco-romana troviamo elementi dell'antico Egitto con numerosi obelischi decorativi, elefanti di derivazione indiana, decorazioni e ornamentazioni mutuata dagli Assiri e dai Fenici. Esuberante la decorazione dei capitelli, quasi una sintesi delle conoscenze decorative e artistiche che avevano appreso entrando in contatto con varie culture.

La grandiosità e la bellezza di molti dei monumenti non deve trarre in inganno circa la loro funzione. Questi edifici erano, come già enunciato, prevalentemente tombe, grandissime, bellissime ma tombe di uso privato. E questa è un'altra misteriosa sorpresa di Petra in quanto un così elevato numero di tombe, dalla raffinata architettura e spettacolare

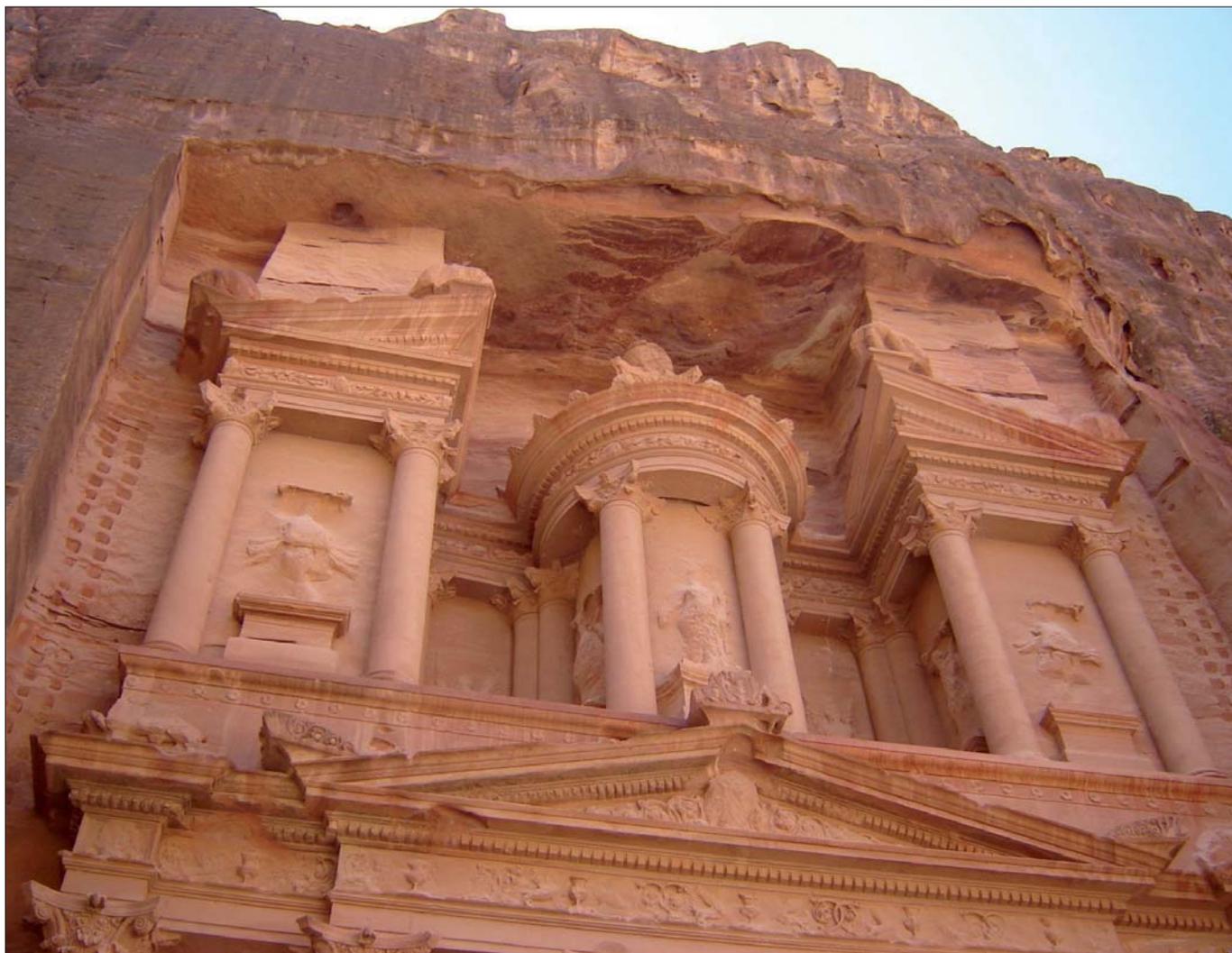


Figura 5 – La parte superiore del Tesoro (al-Khazneh) lascia ben vedere l'azione di scavo con cui è stato costruito il monumento

dei sedimenti l'ossidazione dei metalli ha prodotto una colorazione molto varia in cui dominano le tonalità del rosso, del rosa, del giallo, dell'ocra da cui la caratteristica e spettacolare colorazione che assume l'intero complesso. Lungo il siq, lo stretto corridoio di accesso, le pareti verticali nei loro anche 200 m di altezza presentano variazioni cromatiche decisamente sorprendenti.

Il siq è una gola profonda creata da un fenomeno sismico antico che ha praticamen-

### 4. I MONUMENTI

I monumenti di Petra sono tanti: circa 800 di cui almeno 500 sono tombe. Spettacolari per forma e dimensioni, riflettono bene la storia della città con il suo evidente carattere di città cosmopolita. Gli elementi architettonici provengono dalle culture dei vari mondi con cui i Nabatei entrarono in contatto e dai quali presero ispirazione per architetture e decorazioni che mescolarono armonicamente creando uno stile specifico. Accanto all'architettura

decorazione, non trova facilmente una motivazione o una spiegazione.

Cosa non secondaria, inoltre, è che questi edifici non sono costruzioni architettoniche, anche se ne hanno tutto l'aspetto, ma sono vere e proprie sculture.

Le tombe infatti sono state realizzate scavando, procedendo dall'alto verso il basso, le ripide pareti di arenaria così come dimostrano alcune costruzioni incomplete in cui è ben visibile che la parte realizzata è la parte supe-

riore, essendo la parte inferiore rimasta allo stato di roccia coperta dal materiale di risulta dallo scavo delle parti superiori. Anche in questo caso i Nabatei realizzavano qualcosa progettato sin nelle minime ornamentazioni. Gli archeologi non sono molto d'accordo sulle modalità di esecuzione delle opere anche perché l'area, oggi come allora, non presenta una vegetazione adatta a fornire materiale per le trabeazioni di sostegno per gli scalpellini che dovevano essere tanti e decisamente competenti.

nura, andava perdendo la maggior parte della sua capacità erosiva.

Un altro monumento da ricordare è il Teatro principale riferibile al I sec. d.C., anch'esso non costruito ma interamente scavato; è una costruzione molto simile al teatro greco o romano ma la singolarità è appunto che le gradinate sono state ottenute totalmente scavando l'arenaria. Il risultato, anche in questo caso oltre che spettacolare è un unicum: gli archeologi ritengono che potesse ospitare fino a diecimila spettatori.

sec. d.C. Dopo tale data di Petra rimase solo il ricordo nelle leggende arabe che, nei tanti bivacchi, favoleggiavano di una città bellissima e misteriosa.

Seguendo tali leggende il giovane viaggiatore svizzero Ludwig Burckardt (1784-1817), travestito da mercante arabo, riscoprì Petra: era il 22 agosto del 1812, come annotava nei suoi appunti pubblicati postumi nel 1822. Rientrato in Europa Burckardt dette la notizia al mondo della straordinaria scoperta attraverso sommarie descrizioni sufficienti comunque



Figura 6 – Il teatro principale la cui gradinata è stata ottenuta a mezzo di scavo

Tra i complessi monumenti bisogna ricordare almeno l'edificio chiamato Il Tesoro (al-Khazneh), divenuta l'icona di Petra, anche perché è tra i meglio conservati. Comunemente conosciuto come tempio, è in realtà una tomba monumentale come molte altre ed è anche tra gli edifici meglio conservati. Anche questo monumento, pur nelle sue notevoli dimensioni è stato scolpito scavando l'intera scultura lungo una ampia parte. L'essere incassato e incastonato nella roccia lo ha protetto dall'erosione ma anche la posizione ne ha favorito la conservazione: è collocato, infatti, all'uscita dal siq, in un ampio spazio al riparo dall'azione del vento che, passando da uno stretto passaggio ad una ampia pia-

## 5. L'ABBANDONO E LA RISCOPERTA

Tra il I sec. a.C. e il I sec. d.C. Petra era nel suo massimo splendore politico ed economico quando intervennero i Romani che, dopo aver occupato l'intera zona, spostarono il governo e i commerci più a nord, verso la Siria, in particolare a Palmira, creando una provincia col nome di Arabia Petrea con capitale a Bosra. Probabilmente le difficoltà per raggiungere una zona impervia e di accesso a Petra, portarono i Romani a spostare il baricentro politico ed economico. La diminuzione dei commerci, unitamente alla perdita del potere politico, portarono ad una rapida caduta di Petra che sembra essere stata ancora abitata, come piccolo villaggio, intorno al IV

a portare numerosi europei a visitare Petra. Quello che era stato gelosamente custodito dagli arabi ora diventava una meta privilegiata di un turismo ricco e selezionato costituito da archeologi, storici, intellettuali malati d'Oriente, come era in voga in quel periodo, e artisti. Tra questi lo scozzese David Roberts (1796-1864) realizzò una serie di acquerelli con vedute della città riscoperta che, se pur alquanto fantasiose ed oleografiche, ebbero il merito di far conoscere visivamente le meraviglie di Petra, contribuendo alla crescita della sua notorietà.

Oggi Petra continua ad essere una straordinaria e meravigliosa realtà, uno dei luoghi più visitati al mondo.



Società Italiana di Geologia Ambientale

Tel. 06.5943344

Email: info@sigeaweb.it

Web: www.sigeaweb.it

La SIGEA si occupa dello studio e della diffusione della geologia ambientale, materia che può essere definita come: "applicazione delle informazioni geologiche alla soluzione dei problemi ambientali".

È un'associazione culturale senza fini di lucro, riconosciuta dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare come "associazione di protezione ambientale a carattere nazionale" con decreto 24 maggio 2007 (G.U. n. 127 del 4/6/2007). Agisce per la promozione del ruolo delle Scienze della Terra nella protezione della salute e nella sicurezza dell'uomo, nella salvaguardia della qualità dell'ambiente naturale ed antropizzato e nell'utilizzazione più responsabile del territorio e delle sue risorse. È aperta non solo ai geologi, bensì a tutte le persone e gli Enti (persone giuridiche) che hanno interesse alla migliore conoscenza e tutela dell'ambiente.

#### COSA FA SIGEA

- **favorisce** il progresso, la valorizzazione e la diffusione della Geologia Ambientale, mediante gli "eventi" sotto riportati, diffondendoli attraverso la rivista trimestrale "Geologia dell'Ambiente", il sito web e la newsletter;
- **promuove** il coordinamento e la collaborazione interdisciplinare nelle attività conoscitive ed applicative rivolte alla conoscenza e tutela ambientale. Per questo scopo ha costituito le Aree Tematiche "Patrimonio Geologico", "Dissesto Idrogeologico", "Geoarcheologia", "Educazione Ambientale", "Caratterizzazione e bonifica di siti inquinati";
- **opera** sull'intero territorio nazionale nei settori dell'educazione e divulgazione, della formazione professionale, della ricerca applicata, della protezione civile e in altri settori correlati con le suddette finalità, attivandosi anche mediante le sue Sezioni regionali;
- **organizza** corsi, convegni, escursioni di studio, interventi sui mezzi di comunicazione di massa;
- **svolge attività di divulgazione scientifica** fra cui la conservazione del Patrimonio Geologico: ad esempio, in collaborazione con ProGEO (European association for conservation of geological heritage), ha organizzato il 2° Symposium internazionale sui geositi tenutosi a Roma nel maggio 1996 e il 7° Symposium sullo stesso argomento a Bari nel settembre 2012; inoltre è attiva per svolgere studi, censimenti e valorizzazione dei geositi;

- **svolge attività di formazione**, organizza corsi e convegni di aggiornamento professionale o di divulgazione su tematiche ambientali, quali previsione, prevenzione e riduzione dei rischi geologici, gestione dei rifiuti, bonifica siti contaminati, studi d'impatto ambientale, tutela delle risorse geologiche e del patrimonio geologico, geologia urbana, pianificazione territoriale, pianificazione del paesaggio ecc.; inoltre rende disponibili per i soci pubblicazioni degli Atti dei convegni SIGEA;
- **informa** attraverso il periodico trimestrale "Geologia dell'Ambiente", che approfondisce e diffonde argomenti di carattere tecnico-scientifico su tematiche geoambientali di rilevanza nazionale e internazionale; la rivista

è distribuita in abbonamento postale ai soci e a Enti pubblici e privati;

- **interviene** sui mezzi di comunicazione di massa, attraverso propri comunicati stampa, sui problemi attuali che coinvolgono l'ambiente geologico;
- **collabora** con gli Ordini professionali, con il mondo universitario e con altre Associazioni per lo sviluppo delle citate attività, in particolare nella educazione, informazione e formazione ambientale: con CATAP (Coordinamento delle associazioni tecnico-scientifiche per l'ambiente e il paesaggio) cui SIGEA aderisce, Associazione Idrotecnica Italiana, Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali, Italia Nostra, Legambiente, WWF, ProGEO (International Association for Geological Heritage), Alta Scuola ecc.

## Decreto Ministeriale con il quale permane l'individuazione della SIGEA quale associazione di protezione ambientale già riconosciuta ai sensi dell'art.13 legge 8 luglio 1986 n. 349, e s.m.i., ed inclusa nell'apposito elenco

La presente copia fotostatica composta di n. 022... fogli è conforme al suo originale  
Roma li. 11/10/2017

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE  
DECRETI MINISTRO - REGISTRAZIONE  
0000272 del 11/10/2017

*Il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*

OMISSIS

DECRETA

Per le motivazioni addotte in premessa, **permane l'individuazione** ai sensi e per gli effetti dell'art.13 della legge 8 luglio 1986 n. 349 in capo all'associazione di protezione ambientale, denominata "Società Italiana di Geologia Ambientale - SIGEA" con sede legale a Roma, Via Livenza n.6, già riconosciuta ed inclusa nell'apposito elenco pubblicato sul sito istituzionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

L'associazione è tenuta a comunicare tempestivamente, al Segretariato Generale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ogni eventuale modifica statutaria, di legale rappresentanza, di sede legale ed operativa.

Il presente decreto sarà notificato all'Associazione a cura del Segretariato Generale del Ministero e pubblicato per estratto sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, nonché sul sito istituzionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Gian Luca Galletti



**Società Italiana di Geologia Ambientale**

Tel. 06.5943344

Email: info@sigeaweb.it

Web: www.sigeaweb.it

**DOMANDA DI AMMISSIONE ALLA SIGEA da inviare tramite e-mail**

..I... sottoscritt... (cognome) .....(nome) .....

nat... a ..... il .....

laurea/diploma in .....

professione .....

ente di appartenenza .....

indirizzo d'ufficio (1) .....

..... tel. .... fax .....

indirizzo privato (1) .....

..... tel. .... fax .....

E-mail .....

chiede di essere ammesso in qualità di socio (2) ..... alla SIGEA

Le sue esperienze principali nel campo della Geologia Ambientale sono (indicare parole chiave): .....

.....

I suoi interessi principali nel campo della Geologia Ambientale sono: .....

.....

(data)

(firma)

(1) Indicare Via/Piazza, numero civico, CAP, città, sigla Provincia. **Segnare con un asterisco l'indirizzo al quale deve essere inviata la rivista *Geologia dell'Ambiente*.**

(2) La qualità di socio si acquisisce su domanda del candidato e per approvazione del Consiglio Direttivo.

Possono diventare soci **ordinari** solo le persone che hanno almeno tre anni effettivi di esperienza nel campo della Geologia Ambientale, documentati mediante curriculum da allegare. Possono diventare soci **aderenti** le persone che hanno interesse per la Geologia Ambientale. La *quota associativa annuale* è unica; **per il 2018 è di 30,00 euro.**

**I versamenti a favore della SIGEA possono essere effettuati mediante:**

- CC Postale 86235009 oppure

- Banco Posta, Codice IBAN: IT 87 N 07601 03200 000086235009;

**intestati a Società Italiana di Geologia Ambientale, Roma.**

Secondo lo statuto della SIGEA il rinnovo della quota va effettuato entro il 31 marzo di ogni anno. Per i nuovi soci, la quota di iscrizione pagata dal 1° novembre in poi è valida per l'anno successivo.

*Informativa ai sensi dell'art. 13 del D. Lgs. 196/2003 (Codice in materia di trattamento dei dati personali).* I dati da lei forniti verranno utilizzati da SIGEA nel pieno rispetto della normativa citata. I dati saranno oggetto di trattamento in forma scritta e/o supporto cartaceo, elettronico e telematico. I dati, previo Suo consenso, verranno utilizzati per l'iscrizione alla SIGEA e per informarla delle attività della SIGEA tramite supporti cartacei e/o elettronici. L'eventuale diniego a fornire tali dati comporterà l'impossibilità di ottenere il servizio richiesto; i dati non saranno soggetti a diffusione presso terzi. L'interessato potrà godere dei diritti assicurati dall'art. 7 (Diritto di accesso ai dati personali ed altri diritti) e dall' art. 8 (Esercizio dei diritti) del D.lgs. 196/2003. Titolare del trattamento è SIGEA.

**FORMULA DI ACQUISIZIONE DEL CONSENSO DELL'INTERESSATO**

Io sottoscritto/a, acquisite le informazioni fornite dal titolare del trattamento, ai sensi dell'art.13 del D.Lgs. 196/2003, dichiaro di prestare il mio consenso al trattamento dei dati personali per i fini indicati nella suddetta normativa.

Luogo e data \_\_\_\_\_, Firma \_\_\_\_\_



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Lazio

Con il Patrocinio di MIUR ISPRRA Ufficio Scolastico Regionale del Lazio Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

## 2° CONCORSO FOTOGRAFICO SCOPRI E FOTOGRAFA IL PATRIMONIO GEOLOGICO DEL LAZIO



> La SIGEA Sezione Lazio, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Lazio, bandisce la seconda edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori del Lazio.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori del Lazio che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2018** seguendo le istruzioni disponibili su [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it) ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)  
Segreteria organizzativa del concorso: [Marina Fabrizi, Maurizio Lanzini - lazio@sigeaweb.it](mailto:Marina.Fabrizi@ispra.it)

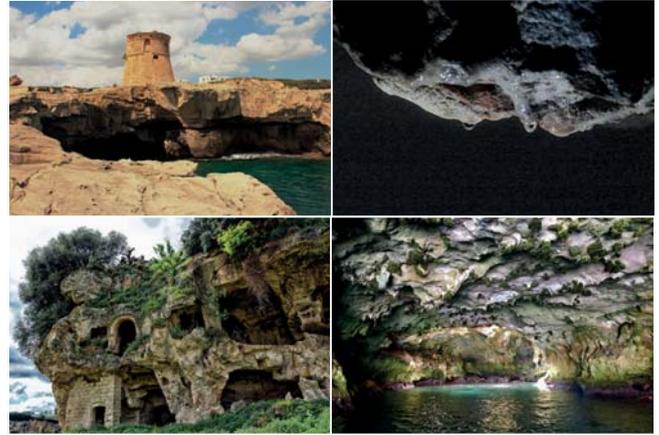
Con la collaborazione di **ZANICHELLI**



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Puglia

Con il Patrocinio di MIUR ISPRRA Ufficio Scolastico Regionale per la Puglia - Direzione Generale Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

## 4° CONCORSO FOTOGRAFICO SCOPRI E FOTOGRAFA IL PATRIMONIO GEOLOGICO DELLA PUGLIA



> La SIGEA Sezione Puglia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Puglia, bandisce la quarta edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori della Puglia.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori della Puglia che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2018** seguendo le istruzioni disponibili su [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it) ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: [www.sigeaweb.it](http://www.sigeaweb.it)  
Segreteria organizzativa del concorso: [Antonello Fiore, Magda Gallo Maresca - foto.paesaggi.puglia@gmail.com](mailto:Antonello.Fiore@ispra.it)

Con la collaborazione di **ZANICHELLI**



## Partecipa al concorso fotografico OBIETTIVO TERRA 2018

In palio € 1.000 e molti altri premi!

Candida una foto a colori di un Parco Nazionale, Regionale, Interregionale o di un'Area Marina Protetta d'Italia entro il 21 marzo 2018.

Regolamento completo e form di partecipazione sul sito: [www.obiettivoterra.eu](http://www.obiettivoterra.eu)

#OT2018 #ObiettivoTerra2018

In collaborazione con:



Con il patrocinio di tutti i Parchi nazionali italiani

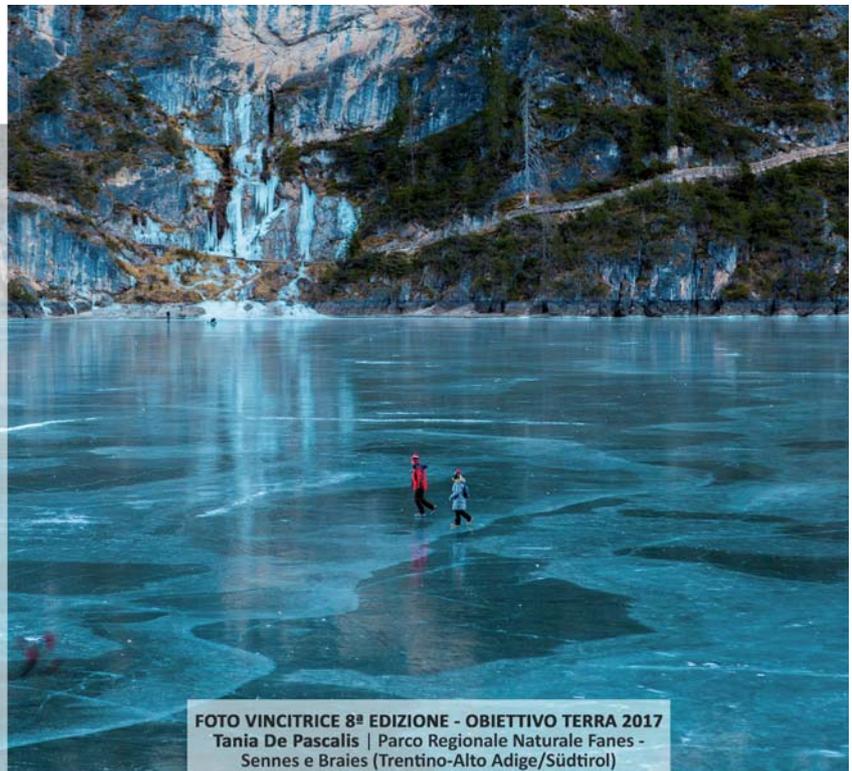


FOTO VINCITRICE 8ª EDIZIONE - OBIETTIVO TERRA 2018  
Tania De Pascalis | Parco Regionale Naturale Fanes - Sennes e Braies (Trentino-Alto Adige/Südtirol)

