



# **Etruria***natura*

*una finestra sul territorio*

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena

Anno X - 2013/2014

SilvanaEditoriale

*Coltivare Conoscenza  
Per Creare Coscienza*



Etrurianatura  
Accademia dei Fisiocritici onlus  
piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena  
tel. e fax 0577 232801  
www.fisiocritici.it  
www.museofisiocritici.it

#### **Registrazione**

Autorizzazione del Tribunale di Siena  
n. 747 del 19-1-2004

#### **Direttore responsabile**

*Gianmichele Galassi*

#### **Responsabili scientifici**

*Roberto Fondi*  
*Roberto Mazzei*

#### **Comitato editoriale**

*Roberto Fondi*  
Università di Siena,  
Dipartimento di Scienze Fisiche,  
della Terra e dell'Ambiente,  
via Laterina 8, 53100 Siena

*Folco Giusti*  
Università di Siena,  
Dipartimento di Scienze Fisiche,  
della Terra e dell'Ambiente,  
via Mattioli 4, 53100 Siena

*Roberto Mazzei*

Università di Siena, Dipartimento  
di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente,  
via Laterina 8, 53100 Siena

*Luana Paulesu*

Università di Siena, Dipartimento  
di Fisiologia, via A. Moro 2, 53100 Siena

*Claudia Perini*

Università di Siena, Dipartimento  
di Scienze della Vita, via Mattioli 4,  
53100 Siena



Silvana Editoriale

#### *Progetto e realizzazione*

Arti Grafiche Amilcare Pizzi Spa

#### *Direzione editoriale*

Dario Cimorelli

#### *Art Director*

Giacomo Merli

#### *Redazione*

Lara Mikula

#### *Coordinamento organizzativo*

Michela Bramati

#### *Segreteria di redazione*

Emma Altomare

#### *Ufficio iconografico*

Alessandra Olivari, Silvia Sala

#### *Ufficio stampa*

Lidia Masolini, [press@silvanaeditoriale.it](mailto:press@silvanaeditoriale.it)

Il volume è una produzione Fondazione Musei Senesi  
realizzata con il contributo del Piano Integrato della Cultura  
Regione Toscana 2012 e della Provincia di Siena



#### *In copertina e retro copertina*

Foto di Giovanni Bencini, viale Europa, comparto "I Pini" 42,  
58022 Follonica (GR)

Nessuna parte di questa rivista può essere riprodotta o trasmessa  
in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico  
o altro senza l'autorizzazione scritta dei proprietari dei diritti e dell'editore.  
L'editore è a disposizione degli eventuali detentori di diritti  
che non sia stato possibile rintracciare

© 2014 Accademia dei Fisiocritici Onlus, Siena

© 2014 Silvana Editoriale Spa, Cinisello Balsamo (Milano)

# Sommario

## 5 **Presentazione**

### **La pagina dell'Accademia**

- 8 La sezione geologica del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici: una raccolta di minerali, rocce e storie  
*Ferruccio Farsi, Davide Orsini*

### **Contributi**

- 16 L'Antartide: una finestra sul passato... un ponte verso il futuro del pianeta  
*Franco M. Talarico, Carlo Alberto Ricci*
- 23 Emergenze floristiche e vegetazionali del bacino idrografico del fosso La Bolza (Val di Merse, Toscana meridionale)  
*Marco Landi, Flavio Frignani, Ilaria Bonini, Gianmaria Bonari, Riccardo Corbini, Carlo Saveri, Claudia Angiolini*
- 35 Residui bellici affondati in mare: studio di una contaminazione dimenticata  
*Camilla Della Torre, Ilaria Corsi, Angelo Tursi, Ezio Amato, Silvano Focardi*
- 43 Geomorfologia e Unità di Paesaggio nella Provincia di Siena  
*Mauro Coltorti, Dario Firuzabadi, Pierluigi Pieruccini*

### **Il punto della situazione**

- 56 L'eruzione di Santorini (1627-1600 a.C.) e il suo impatto nella storia del Mediterraneo orientale  
*Roberto Fondi, Roberto Mazzei*

### **Orizzonti**

- 76 Il programma TUNU per lo studio degli ecosistemi euro-artici a fronte degli impatti antropici e dei cambiamenti globali  
*Simonetta Corsolini, Jørgen S. Christiansen*

### **La parola all'immagine**

- 86 L'uomo e il mare  
*Giovanni Bencini*

### **Io, il lettore**

- 94 Piante GM: occorrono meno pregiudizi e più ricerca scientifica  
*Riccardo Clemente*
- 102 Una passeggiata nella prateria del *Mare Nostrum* che fa pensare  
*Francesca Borghini*

### **Schede naturalistiche**

- 108 Le farfalle della Montagnola Senese  
*Leonardo Favilli, Sandro Piazzini, Giuseppe Manganelli*

### **Viaggiando per Musei**

- 116 *Above/Below Ground*. La fascinazione del contemporaneo all'Accademia dei Fisiocritici  
*Ada Cattaneo*



# Presentazione

Cari lettori,

siamo felici di presentarvi il decimo numero di **Etrurianatura**. Giunti a questo significativo traguardo, non del tutto scontato, vi ringraziamo della costanza che finora avete dimostrato nel seguire la rivista; la vostra generosità, nei giudizi che più volte su di essa avete espresso, è stata uno stimolo forte e fondamentale per cercare di renderla sempre più accessibile a tutti e ricca di contenuti. Non possiamo esimerci, inoltre, dal ringraziare di cuore sia la Presidente dell'Accademia, Sara Ferri, la quale fin dall'inizio ha creduto in **Etrurianatura** come strumento di conoscenza e divulgazione, sia il personale della storica Istituzione senese per la fattiva collaborazione alla crescita di questo strumento. Infine, la nostra gratitudine è da estendere nei confronti di tutti coloro che si sono impegnati, in qualunque forma e modo, a sostegno e valorizzazione della rivista.

In questi dieci anni abbiamo cercato di far comprendere l'importanza delle conoscenze sul patrimonio naturale nell'ambito del bagaglio culturale necessario allo sviluppo dei valori di qualsiasi popolo.

Tale importanza è evidenziata dal motto che la rivista si è dato: *Coltivare Conoscenza Per Creare Coscienza*. In una chiave di lettura scientificamente corretta e facilmente comprensibile, è stata aperta "una finestra" su vari aspetti territoriali. Gli articoli non hanno riguardato solo il territorio toscano, sebbene a questo sia stata rivolta particolare attenzione; nelle tematiche a carattere più generale, come ad esempio quelle climatico-ambientali, si è spaziato addirittura dalle aree artiche a quelle antartiche. Per mezzo di **Etrurianatura** si è cercato di sensibilizzare alla bellezza e al fascino che derivano dalla straordinaria complessità della Natura, nonché di fornire risposte agli innumerevoli interrogativi insiti in questo grande scenario per cercare di salvaguardarne i delicatissimi equilibri e consegnarlo in buona salute alle generazioni future.

Se quanto abbiamo scritto in precedenza è stato e continua a essere il compito principale che la rivista intende portare avanti, va però riconosciuta la difficoltà da parte dell'Accademia nel procurarsi i mezzi finanziari necessari ad assicurarne la prosecuzione. La grave depressione economica che tormenta il nostro Paese è infatti sotto gli occhi di tutti e, almeno fino a oggi, non accenna a risolversi. D'altra parte, insieme ai problemi della carenza di fondi vanno affrontati quelli non poco impegnativi della gestione redazionale, consistenti nel "call for papers", nella scelta degli articoli e nella loro revisione con adattamento allo stile divulgativo. Riteniamo perciò indispensabile che si debba effettuare un "rilancio" di **Etrurianatura**, sia per farla conoscere a un pubblico sempre più allargato e consapevole (rappresentanti del mondo scientifico, delle scuole, delle associazioni naturalistiche e di altro genere, della pubblica amministrazione, delle imprese private eccetera, fino ai semplici appassionati), sia per poterla usare come strumento di salvaguardia-valorizzazione del patrimonio naturale e di crescita culturale dell'intera società.

Ciò premesso, veniamo senz'altro alla presentazione dei contenuti del nuovo numero.

Nella prima rubrica, Ferruccio Farsi e Davide Orsini ripercorrono la storia delle raccolte mineralogiche del Museo dell'Accademia: raccolte che, a partire dall'originario nucleo seicentesco creato da Pirro Maria Gabbriellini, si sono poi progressivamente arricchite grazie a successive donazioni, fino a quella recentissima degli eredi di Nereo Perini, appassionato collezionista altoatesino.

Franco Talarico e Carlo Alberto Ricci dimostrano con il loro contributo quanto sia importante studiare a fondo gli scenari del passato, per avere un'idea attendibile di quello che dobbiamo aspettarci nel futuro. Dalle perforazioni finora effettuate nella remota Antartide, infatti, è risultato che circa tre milioni di anni fa l'atmosfera aveva un contenuto di anidride carbonica paragonabile a quello odierno e una temperatura media comparabile a quella che si prevede verrà raggiunta – se non faremo cambiare le cose – alla fine di

questo secolo. Ebbene, sapete che cosa successe in tali condizioni? Successe che la calotta dell'Antartide occidentale si comportò in modo assai dinamico, reagendo perfino a piccole variazioni di temperatura. Più in particolare, la piattaforma di ghiaccio galleggiante del Mare di Ross, che attualmente occupa una superficie pari a quella della Francia, nei periodi relativamente più caldi andò progressivamente ritirandosi fino a dare spazio a condizioni di mare aperto; inoltre la calotta polare occidentale andò parzialmente in collasso, con un conseguente innalzamento di oltre sei metri del livello marino globale. Possiamo pertanto dedurre che intorno al 2100 i cittadini di Venezia e di Trieste, se ancora ci saranno, avranno di che preoccuparsi.

Marco Landi e collaboratori sono andati nella Val di Merse a esplorare il bacino idrografico del fosso

La Bolza, in cui vive e si perpetua una comunità floristica molto peculiare. Vi sono infatti diffusi il faggio, che di solito vegeta a quote notevolmente più elevate, accanto a rare specie di sfagni e di felci che possono essere interpretati quali "relitti" rispettivamente glaciali e terziari.

Il contributo di Camilla Della Torre e collaboratori fornisce i primi dati sugli effetti di contaminanti come l'iprite e il trinitrotoluene, rilasciati dai residui bellici affondati nel Mare Adriatico durante l'ultimo conflitto mondiale, su vertebrati e invertebrati bentonici assai comuni quali l'anguilla, il grongo, lo scorfano di fondale e il riccio femmina.

Dato che la vulnerabilità o meno delle costruzioni effettuate in un determinato territorio dipende dalle sue caratteristiche geologiche e dal comportamento di queste ultime rispetto ad agenti modellatori del paesaggio come frane, esondazioni, fratture legate alla tettonica e così via, è importante poter disporre di carte che suddividano il territorio stesso in settori relativamente omogenei: nei quali cioè affiorino rocce specifiche (calcari, marne, argille, alternanze di marne e argille eccetera) o si presentino forme peculiari (tratti pianeggianti, debolmente o molto inclinati eccetera) o si abbiano corsi d'acqua con caratteristiche analoghe. Questi settori rappresentano e definiscono vere e proprie "Unità di Paesaggio", delle quali Mauro Coltorti, Dario Firuzabadi e Pierluigi Pieruccini hanno realizzato, con il loro contributo, un'utilissima carta relativa alla Provincia di Siena.

Roberto Fondi e Roberto Mazzei fanno "il punto della situazione" sulla possibile corrispondenza tra gli effetti dell'eruzione vulcanica di Santorini nel Mar Egeo e le "piaghe d'Egitto" descritte nell'Esodo mosaico. Poiché soltanto di recente si è riusciti a stabilire che tale eruzione si verificò nel 1627-1600 a.C., diviene possibile gettare nuova luce quanto meno sul contesto storico dell'antico Egitto nel quale essa venne drammaticamente a inserirsi. Tale contesto vede il Basso Egitto – cioè la parte del Paese direttamente affacciata sul Mediterraneo e comprendente il delta del Nilo – sotto il dominio di "extracomunitari" provenienti dall'area palestinese: gli Hyksos. Nell'articolo si ipotizza che gli effetti catastrofici dell'eruzione di Santorini sull'assetto sociale, economico e militare del Basso Egitto abbiano consentito ai faraoni dell'Alto Egitto di riprendersi la rivincita nei confronti dei loro invasori, scendendo in campo contro questi e ricacciandoli nella loro terra di origine.

In "Orizzonti", Simonetta Corsolini e Jørgen S. Christiansen informano circa il "progetto TUNU", programma di monitoraggio a lungo termine e svolto tramite la nave di ricerca norvegese Helmer Hanssen. Coordinato dall'università di Tromsø, il progetto, cui partecipano dieci nazioni, Italia inclusa, si prefigge di studiare l'evoluzione degli ecosistemi marini euro-artici a fronte del cambiamento climatico in atto e dei sempre più intensi impatti antropici.

Nelle "Schede naturalistiche", Leonardo Favilli, Sandro Piazzini e Giuseppe Manganelli descrivono la fauna a farfalle della Montagnola Senese, la quale, oltre a essere con le sue quasi cento specie una delle più ricche della Toscana, rientra anche tra quelle di maggiore interesse faunistico e conservazionistico.

In "Io il lettore", Francesca Borghini ci fa di nuovo indossare la tenuta da sub per guidarci, stavolta, tra le matte della sempre più minacciata prateria a Posidonia del *Mare Nostrum*; mentre Riccardo Clemente dice quel che pensa sulle varie problematiche connesse alle Piante Geneticamente Modificate.

A coronamento e cornice di tutto, infine, i cromatismi poetico-musicali delle foto di Giovanni Bencini: come sempre, veri e propri quadri d'autore.

*Il Comitato Editoriale*

# La pagina dell'Accademia



Foto di Giovanni Bencini  
Follonica (GR)

# La sezione geologica del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici: una raccolta di minerali, rocce e storie

Ferruccio Farsi<sup>1</sup>, Davide Orsini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici, piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena - ferruccio.farsi@unisi.it

<sup>2</sup> Università degli Studi di Siena, Centro Servizi CUTVAP, via Aldo Moro 2, 53100 Siena - davide.orsini@unisi.it

Migliaia di esemplari di rocce e minerali, in parte contenuti in piccoli vasi di vetro soffiato, sono allineati come un esercito di soldatini sui ripiani di vetrine ottocentesche nel Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici (fig. 1), poggiati su basi di legno dipinte di nero sulle quali

risalta il bianco di antichi cartellini che riportano nomi e luoghi di provenienza (fig. 2). Pur nella loro apparente immobilità, questi preziosi esemplari “raccontano” al visitatore attento e desideroso di ascoltare le tante storie che custodiscono, storie di processi geologici che li hanno generati,



1. Museo di Storia Naturale, piano terreno, portico Pietro Cusani Politi, angolo con il portico Giovanni Campani. Sulla sinistra la grande vetrina ad angolo 13 A-L nella quale è esposta la collezione generale di minerali. In primo piano, a sinistra, un grande campione di Stibnite ricoperta da stibiconite (Stibina ricoperta d'ocra di antimonio), proveniente dalla miniera delle Cetine di Cotorniano, Chiusdino, Siena, dono del signor Antonio Scanigli, 1878, inv. 130, 685 x 525 x 415 mm. Al centro, la vetrina con le tre formelle marmoree superstiti della linea meridiana o Eliometro fisiocritico di Pirro Maria Gabbrielli (1703). Nella corte sono visibili lo scheletro completo di una Balenottera comune, spiaggiata sul litorale tirrenico nel 1974 e qui esposta dalla metà degli anni ottanta, e il pozzo cinquecentesco dell'antico monastero camaldolese. (Foto di Bruno Bruchi)



2. Rocce e minerali della provincia senese (particolare). Sono visibili alcuni esemplari della raccolta denominata in origine Collezione dei Marmi e delle Pietre Ornamentali della Provincia Senese. Dono dell'ingegnere Girolamo Tarducci e del professore Pellegrino Bertini, 1862. Collocazione vetrina 14 E, nella quale sono esposti 81 campioni su un totale di 221. (Foto di Bruno Bruchi)

storie di uomini che li hanno trovati, studiati, collezionati e donati al museo perché potessero continuare a raccontarle a un pubblico sempre nuovo e più vasto. Negli oggetti si condensa infatti il passato e si materializzano i ricordi. Ma mille e una storia conservano anche le centinaia di minerali non esposti, chiusi in bui scompartimenti alla base delle vetrine, che attendono l'occasione di una mostra o di una specifica ricerca per tornare a narrare di nuovo le proprie vicende.

Sono storie antiche quelle dei minerali della sezione geologica del Museo di Storia Naturale, che vanno indietro nel tempo fino al XVII secolo. Alcuni di essi, infatti, furono raccolti prima del 1694 da Pirro Maria Gabbrielli, fondatore dell'Accademia, che "unì anco allo studio de' semplici quello de' minerali, conoscendo perfettamente tutte le specie de' metalli, e di pietre preziose, o medicinali che fossero, delle quali ne fece una buona raccolta, collocandole nella stanza della libreria

dello Spedale, dove formò un piccolo museo di queste e d'altre cose più singolari" (De Gregorio, 1999). I minerali di Gabbrielli sono oggi "dispersi" all'interno della collezione generale di minerali del museo. Questa loro condizione è legata al fatto che la collezione, voluta secondo i canoni della museologia ottocentesca per offrire un quadro il più possibile esaustivo dell'universo mineralogico e costituitasi nei secoli grazie a donazioni da parte di numerosi naturalisti e collezionisti, oltre a scambi e rari acquisti, ha subito numerosi interventi di risistemazione che hanno comportato in parte la perdita delle informazioni sulla provenienza dei campioni e soprattutto lo smembramento delle storiche raccolte.

Eppure, nonostante non siano più individuabili come specifiche raccolte, nelle vetrine sono conservati almeno in parte i minerali di Giuseppe Baldassarri (1705-1785), presidente dell'Accademia dei Fisiocritici dal 1771 al 1785 e primo

soprintendente al museo dal 1759 al 1782, e quelli acquistati nel 1826 dalla famiglia di Biagio Bartalini (1750-1822). I primi, in origine centotrenta tra minerali e rocce, raccontano di esser stati raccolti da Baldassarri nel territorio senese per conto del nobile Giovanni Venturi Gallerani: è una storia riportata dallo stesso Baldassarri nella sua opera *Osservazioni sopra il sale della creta, con un saggio di Produzioni Naturali dello Stato senese*, edita nel 1750, in Siena, dalla Stamperia del Pubblico. E narrano, ancora, di quando furono ammirati da Giovanni Targioni Tozzetti. Il naturalista fiorentino, di passaggio a Siena nel 1745, così scrisse nel volume VII della sua opera *Viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali e gli antichi monumenti di essa*: “Con mio grande piacere veddi due pregevoli raccolte di Produzioni Naturali dello Stato Senese, fatte dal Signor Cavaliere Gio. Venturi Gallerani, e dal Sig. Ambrogio Luti. [...] Moltissime sono le altre Produzioni Naturali dello Stato di Siena, che osservai in questi Musei e principalmente del genere de' Minerali, e de' Testacei fossili, che per l'angustia del tempo non potei esattamente notare, ma con mio gran piacere le ho vedute descritte nell'anno 1750 con somma diligenza dal Chiariss. Signor Dottor Giuseppe Baldassarri, nella sopraccitata Opera intitolata Saggio di Produzioni Naturali dello Stato senese [...]. Tutte poi, insieme con molte altre di più, raccolte dal medesimo Signor Dott. Baldassarri, e regalate da altri Studiosi Senesi, nel 1767 erano collocate nel Museo Pubblico dell'Accademia delle Scienze, ma io non potei vedere senonché alcune poche, stante l'essere impiccato lo Stanzone per la pittura che si faceva nella volta” (Targioni Tozzetti, 1768-1779). Non sappiamo, invece, quanti fossero i minerali provenienti dalla ricchissima collezione di Biagio Bartalini che Giacomo Marchi, suo nipote ed erede, vendette nel 1826 ai Fisiocritici. Essi provenivano dalla raccolta che Bartalini, medico con un grande amore per le scienze naturali, aveva costituito nella sua casa e che era stata ammirata da Spallanzani, da De Lalande nel suo viaggio in Italia, dal naturalista Humboldt e, addirittura, dal granduca Pietro Leopoldo di Lorena e dal suo

successore Ferdinando III. Bartalini nel 1782 era stato nominato custode del Museo dell'Università, primo nucleo di quello che sarebbe divenuto il Museo dell'Accademia dei Fisiocritici, e aveva poi ricoperto l'incarico di presidente dell'Accademia dal 1815 al 1819. È estremamente significativo, quindi, che la sua collezione e la sua biblioteca siano state acquisite alla sua morte dall'Accademia, della quale Bartalini aveva curato e organizzato le prime collezioni nella nuova sede del monastero della Rosa, dove i Fisiocritici si erano insediati nel 1816.

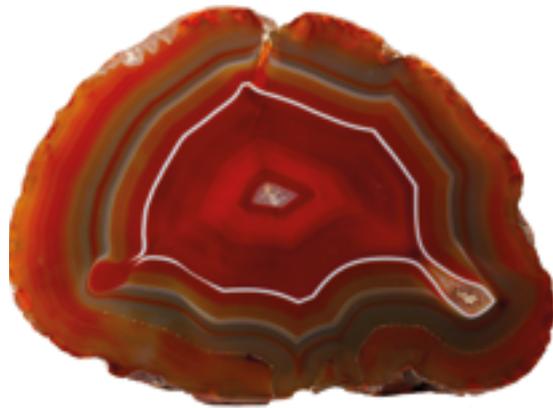
I minerali provenienti dalle raccolte di Baldassarri e Bartalini sono dunque in parte ancora conservati nella collezione generale di minerali, che oggi è composta di circa 1600 esemplari, dei quali 1206 sono esposti nella vetrina 13A-L, collocata nel chiostro al piano terreno dell'Accademia.

Tali campioni provengono da moltissimi paesi della terra, anche se prevalentemente giungono dall'Italia, con preminenza dalla Toscana meridionale. D'altro canto, come scriveva Targioni Tozzetti (1768-1779), “lo Stato Senese è abbondantissimo di Produzioni Naturali sommamente belle ed istruttive, ma non è stato per anche ben visitato minutamente dai Naturalisti, e poche notizie se ne trovano registrate nei Libri, se si eccettuino le opere del Sig. Dott. Baldassarri e varie Dissertazioni negli Atti dell'Accademia delle Scienze di Siena”.

La storia di questa, come di altre collezioni, ha dunque risentito in maniera sensibile delle vicissitudini vissute dall'Accademia nel XIX secolo. Dopo il distruttivo terremoto del 1798 gli accademici dovettero mettersi alla ricerca di una nuova sede, essendo crollato il tetto della sala che li accoglieva nella sede della Sapienza. E solo nel 1814 ottennero dal governo napoleonico il monastero di Santa Mustiola alla Rosa nel prato di Sant'Agostino: si concretizzava in questo modo la possibilità di costituire un museo di storia naturale “utile per gli studiosi, per l'insegnamento e la pubblica comunicazione scientifica”. Nel corso dell'Ottocento il museo venne ampliato grazie soprattutto alla generosità di scienziati collezionisti e di privati cittadini. In una lettera al presidente dell'Accademia



3



4



5



6

3. Labradorite. Labrador, Canada. Collezione generale di minerali, inv. 1495, collocazione vetrina 13L. Lucidato, 144 x 98 x 10 mm. (Foto di Bruno Bruchi)

4. Calcedonio. Brasile. Collezione generale di minerali, inv. 489, collocazione vetrina 13E. Lucidato a specchio su due facce parallele, 155 x 116 x 25 mm. (Foto di Bruno Bruchi)

5. Ortoclasio (Ortose) nell'euryte. Portoferraio, Livorno, Toscana. Collezione generale di minerali, inv. 1474, collocazione vetrina 13L. Dendriti di manganese sul fronte e lucidato a specchio sul retro, 107 x 89 x 21 mm. (Foto di Bruno Bruchi)

6. Malachite con azzurrite nella limonite. Miniera di Calabona, Alghero, Sassari, Sardegna. Dono del professor Ernesto Manasse. Collezione generale di minerali, inv. 991, collocazione vetrina 13F, 75 x 64 x 48 mm. (Foto di Bruno Bruchi)

dei Fisiocritici, datata 27 ottobre 1866 (AAF vol. I, n. 164.a), il prefetto di Siena Federico Papa comunicava che il Ministero dei Culti aveva disposto in data 23 ottobre la concessione all'Accademia della chiesa della Rosa “per impiantarvi e disporvi il Museo Mineralogico”: testimonianza questa della crescita sia quantitativa che qualitativa delle collezioni accademiche a metà del XIX secolo e del ruolo di alta istituzione scientifica che veniva riconosciuto all'Accademia dei Fisiocritici.

Tra quanti contribuirono con donazioni all'incremento delle raccolte di minerali – i loro nomi sono riportati nelle schede che il direttore del Museo Fisiocritico compilava per il presidente dell'Accademia (AAF, volume IV, n. 76, 194 fogli sciolti) – compaiono studiosi, appassionati, ma anche professionisti che, svolgendo attività di direzione di miniere e di lavori di scavo per opere pubbliche, avevano la possibilità di prelevare minerali particolarmente interessanti che oggi

rappresentano testimonianze uniche di miniere non più esistenti (tutto ciò fa comprendere il motivo per cui non pochi ricercatori di università italiane e straniere si recano presso l'Accademia con l'intento di studiare e analizzare con moderne tecnologie i campioni di minerali) o di lavorazioni preindustriali delle quali si sta perdendo memoria. E allora, a ragione, possiamo affermare che le raccolte del Museo dell'Accademia narrano storie della coltivazione di miniere della Toscana meridionale, tutte ormai prive di attività estrattiva (collezione dei minerali greggi e lavorati delle miniere di Capanne Vecchie e Poggio Bindo presso Massa Marittima) e dei procedimenti di trasformazione che vi si svolgevano (collezione di minerali greggi e lavorati della miniera e fonderia del Bottino-Lucca).

A queste fanno eco le storie delle rocce che raccontano della costruzione della cattedrale senese (collezione dei Marmi adoperati dall'Opera del Duomo di Siena), e quelle delle Terre di Siena (collezione delle Terre Bolari naturali e manufatte del Monte Amiata) che “fino dai tempi più antichi furono adoperate in larga scala per la pittura e più specialmente per quella murale per la loro solidità e inalterabilità” (Tommi, 1890).

Di storie altrettanto interessanti, ma nuove, parlano invece i campioni che costituiscono la collezione di minerali raccolti da Nereo Perini (1928-2011), l'ultima donazione in ordine di tempo e forse in assoluto la più grande e preziosa che l'Accademia abbia ricevuto. Tale donazione, straordinaria per la qualità e il numero di campioni che la compongono (1357 esemplari di minerali, cui sia aggiungono pochi campioni di meteoriti, rocce e fossili), conferma la natura evergetica del Museo di Storia Naturale che si è sviluppato e continua ad accrescersi grazie ad atti di liberalità e doni di scienziati e privati cittadini. Per le sue caratteristiche, la collezione Perini risulta complementare a quella storica dell'Accademia e in tale senso contribuisce ad arricchire sensibilmente il patrimonio mineralogico del museo. Oltre a raccontare di uno studioso che ha dedicato più di trent'anni della sua vita alla raccolta di minerali, essa narra di luoghi lontani, dalle Americhe all'e-

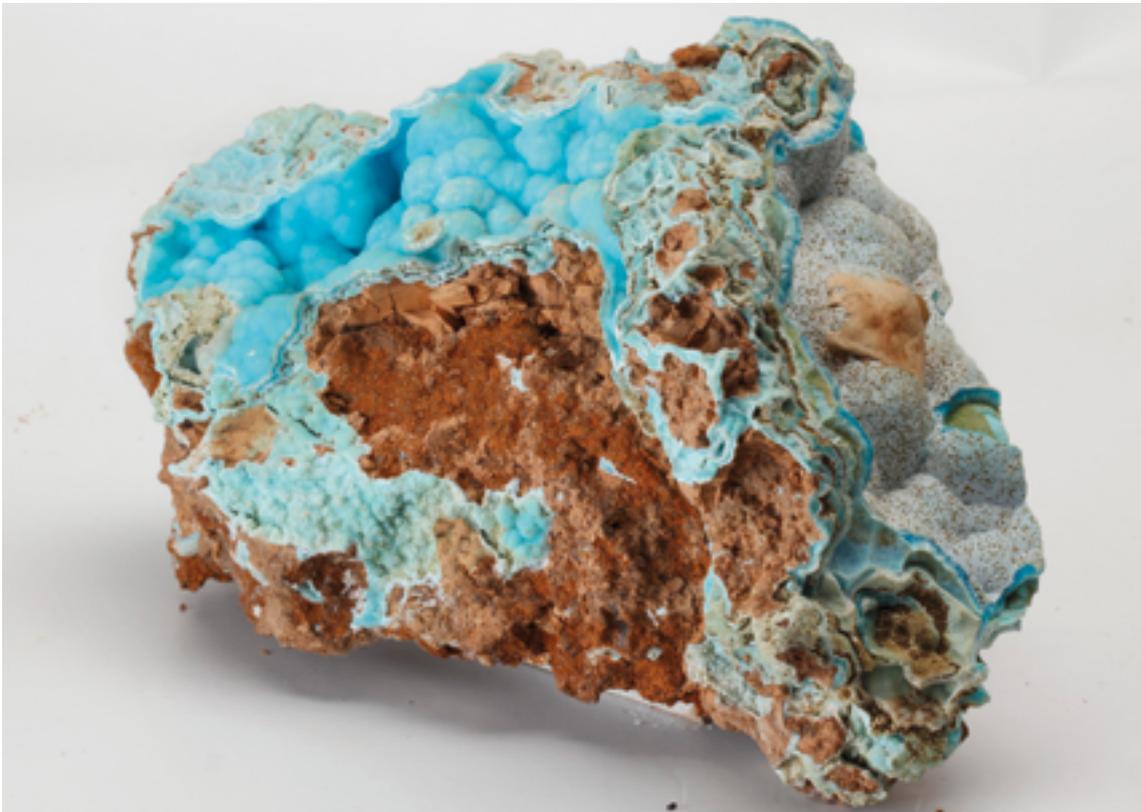
stremo Oriente, ma soprattutto del Trentino Alto Adige, regione dove Nereo Perini era nato e ha vissuto e da dove proviene la gran parte dei pezzi. Le specie mineralogiche che la compongono sono state in gran parte scoperte nei secoli XIX e XX; questo aspetto è ciò che più di ogni altro la distingue dalla collezione generale di minerali del museo, i cui esemplari appartengono invece a specie mineralogiche conosciute in un arco di tempo compreso tra il 1788 e il 1902 in miniere oggi non più attive.

Una caratteristica, che accomuna gli esemplari della sezione geologica, è quella di essere stati raccolti con l'obiettivo di farne utili e, in alcuni casi, indispensabili ausili per l'insegnamento. Dobbiamo d'altro canto ricordare che nel 1841 un decreto granducale stabilì che l'Accademia dovesse essere considerata uno “stabilimento universitario” e le sue collezioni usate a scopi didattici. Si rese quindi necessario un ulteriore e questa volta complessivo riordino delle raccolte e dei musei dell'Accademia: durante l'adunanza del 25 gennaio 1852 venne deliberato di creare un unico Museo Fisiocritico, con diverse sezioni. Il nuovo museo era “destinato non solo a prestarsi all'esibizione e ai bisogni della scienza in generale, ma anche a servire, per l'uso, alle occorrenze dell'Insegnamento di Storia Naturale” (Regolamento Organico del Museo Fisiocritico reso pubblico il 25 aprile del 1853, AAF, vol. V, n. 104). Inoltre, l'Accademia si rese disponibile a donare alcuni esemplari per l'insegnamento delle scienze nelle scuole, come risulta ad esempio dal documento conservato nel suo Archivio storico *Collezione di minerali, fossili e rocce tratta dal magazzino della R. Accademia dei Fisiocritici e donata con deliberazione del 22 dicembre 1867 al Municipio di Siena per l'insegnamento delle Scuole tecniche municipali* (AAF, vol. V, n. 146). Ancor oggi gli esemplari delle collezioni del Museo di Storia Naturale vengono costantemente inseriti in percorsi didattici per gli studenti della scuola e dell'università.

C'è però una raccolta di minerali che più di ogni altra conserva in sé il ricordo di lezioni universitarie, di giornate di studio e di esami (superati, ma anche da ripetere): è la collezio-



**7.** Zolfo. Cattolica Eraclea, Agrigento, Sicilia. Dono del professor Luigi Bombicci, 1872. Collezione generale di minerali, inv. 63, collocazione vetrina 13A. Cristalli centimetrici, 170 x 98 x 82 mm. (Foto di Bruno Bruchi)



**8.** Emimorfite (Calamina cuprifera). Miniera Sa Duchessa, Domusnovas, Cagliari, Sardegna. Collezione generale di minerali, inv. 1175, collocazione vetrina 13H, 135 x 106 x 62 mm. (Foto di Bruno Bruchi)

ne generale di minerali dell'antico Gabinetto di Mineralogia dell'Università di Siena. Nel 2008 l'Accademia dei Fisiocritici ne ha acquisiti in forma di deposito permanente 180 esemplari con lo scopo di renderli fruibili ai visitatori almeno parzialmente (essi sono conservati in quattro armadi in legno di abete, provvisti di ripiani estraibili per un'agevole consultazione). In questo modo potranno narrare di come furono messi insieme dal professor Manasse al fine di servire in maniera precipua alla didattica e alla preparazione di futuri geologi, al pari dell'altra parte della collezione, quella di maggior pregio estetico, oggi esposta nelle collezioni scientifiche del Dipartimento di Scienze fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena. Durante il suo lavoro, prima di assistentato e poi di docente, Ernesto Manasse (che si era laureato in scienze e in chimica all'Ateneo di Pisa) svolse numerose escursioni nei più importanti giacimenti minerari della Toscana (Isola d'Elba, province di Pisa, Livorno e Massa-Carrara) e della Sardegna, dove raccolse molto materiale da collezione e da studio che donò al Museo Mineralogico pisano. Quando nel 1907 ottenne il posto che era stato di Attilio Tassi alla cattedra di mineralogia dell'Università di Siena, impiegò tutte le sue energie per costituire un Gabinetto di Mineralogia presso la Scuola di Farmacia, dando così origine alla collezione. Come egli stesso ricordava, una volta a Siena riprese le sue esplorazioni: "Ho visitato gran parte della Montagnola Senese e diverse cave di marmi che ivi esistono, le miniere cina-

brifere, e i depositi di ocre e di farina fossile, del Monte Amiata, i giacimenti antimoniferi delle Cetine, la cava di solfo di Poggio Orlando, ecc. Ho potuto così mettere insieme alcune collezioni mineralogico-geologiche, fra le quali tre assai ricche, riguardanti l'una la miniera delle Cetine, l'altra la cava di solfo di Poggio Orlando, la terza i diversi marmi del Senese. Queste collezioni appartengono ora al Gabinetto di Mineralogia dell'Università di Siena".

Le vicende vissute dal professor Manasse in queste escursioni sono diventate parte della storia stessa della collezione generale di minerali dell'antico Gabinetto di Mineralogia, che un secolo dopo la sua formazione ha avuto la ventura di essere smembrata e andare a confluire parzialmente nella sezione geologica del Museo di Storia Naturale dei Fisiocritici, quello stesso museo nel quale Manasse si è occupato "del riordinamento delle svariate collezioni ivi esistenti", dopo esserne stato nominato direttore nel 1906 (AAF, vol. I, n. 156.191).

Le raccolte dei minerali del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici testimoniano dunque infinite storie, nelle quali si incontrano personaggi (Gabbrielli, Baldassarri, Bartolini, Manasse, Perini e tanti altri dei quali non conserviamo i nomi) le cui vite si intrecciano con quelle degli oggetti stessi. Tali storie sono in grado di suscitare in noi una meraviglia sempre nuova che ci auguriamo possa farci cogliere tutta la bellezza della scienza e penetrare a fondo i suoi misteri.

### Testi citati

Accademia dei Georgofili e Gruppo di ricerche storiche del Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze (2006) - *I Targioni Tozzetti fra '700 e '900*. Catalogo della mostra. Università degli Studi di Firenze.

Baldassarri G. (1750) - *Osservazioni sopra il sale della creta, con un saggio di Produzioni Naturali dello Stato senese*. Stamperia del Pubblico, Francesco Rossi, Siena.

Carte dell'Archivio storico dell'Accademia dei Fisiocritici.

De Gregorio M. (1999) - *Nuovi contributi ad una biografia di Pirro Maria Gabbrielli*. In: Crisciani et al., *Scienziati a Siena*, 41-66, Accademia dei Fisiocritici, Siena.

Farsi F. & Guasparri G. (2006) - *La Sezione geologica del Museo di Storia Naturale: catalogazione e riordinamento delle collezioni di minerali e rocce*. *Etrurianatura*, 3, 8-12.

Targioni Tozzetti G. (1768-1779) - *Viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali e gli antichi monumenti di essa*. Gaetano Cambiagi, Firenze.

Tommi C. (1890) - *I minerali delle province di Siena e Grosseto*. Tipografia Nava, Siena.

Vannozzi F. & Manganelli G. (a cura di) (2010) - *Siena, Museo di Storia Naturale, Accademia dei Fisiocritici. Fondazione Musei Senesi, Guide/14, Silvana Editoriale, Milano*.

Sito web dell'Accademia dei Fisiocritici: [www.fisiocritici.it](http://www.fisiocritici.it)

# Contributi



Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

# L'Antartide: una finestra sul passato... un ponte verso il futuro del pianeta

Franco M. Talarico, Carlo Alberto Ricci

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente  
e Museo Nazionale dell'Antartide "Felice Ippolito", via Laterina 8, 53100 Siena

*La ricerca paleoclimatica in Antartide, basata sullo studio di sedimenti prelevati dai fondali marini in prossimità delle calotte di ghiaccio, porta chiare evidenze sul comportamento di queste ultime in intervalli di tempo durante i quali la quantità di gas serra in atmosfera e la temperatura erano confrontabili con quelle previste per la fine del XXI secolo. I risultati, recepiti nell'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change, offrono una solida base di partenza per nuovi studi sulle modalità con le quali i sistemi fisici e biologici delle alte latitudini meridionali hanno risposto nel passato agli elevati livelli di CO<sub>2</sub> in atmosfera.*

## Premessa

Le relazioni fra regioni polari e il clima sono spesso sintetizzate nella frase che definisce queste regioni come il “motore, le sentinelle e l'archivio” del clima. Sul loro ruolo di “motore” e “sentinelle” la comunità scientifica aveva convenuto da tempo:

1) l'eccesso di calore ricevuto dalle regioni intertropicali viene ridistribuito a livello globale tramite la circolazione atmosferica e la circolazione oceanica profonda (circolazione termalina) innescate dai grandi “frigoriferi” polari; 2) le variazioni della temperatura nelle regioni polari si manifestano in anticipo nel tempo e amplificate nella loro intensità (mentre a livello globale la temperatura media è aumentato di 0,6 gradi negli ultimi cinquant'anni, nella Penisola Antartica è aumentata di 2,5 gradi e in Artico addirittura di 3 gradi). Ma che del clima ne fossero anche l'“archivio” è scoperta relativamente recente. Nelle regioni polari le precipitazioni nevose accumulate negli anni si trasformano in “strati” di ghiaccio. A partire dagli anni ottanta

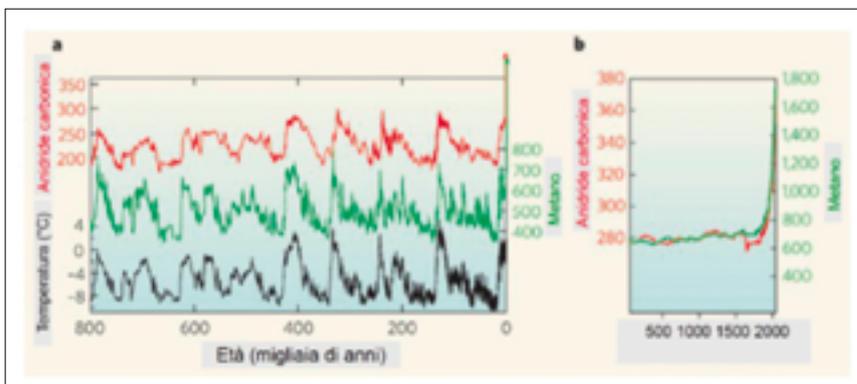
sono state estratte, mediante perforazioni delle calotte, carote di ghiaccio progressivamente più antiche verso il basso (fig. 1). Lo studio di queste carote ha consentito di legare insieme stima delle variazioni della temperatura (composizione isotopica dell'idrogeno e dell'ossigeno nel ghiaccio) e composizione chimica dell'atmosfera al tempo della precipitazione (rappresentata da bolle d'aria – CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ossido di azoto – nel ghiaccio). La perforazione effettuata presso la stazione russa di Vostok è da considerarsi quella che ha aperto strade nuove nell'ambito delle ricerche climatiche: con i suoi 3600 metri di profondità essa ha permesso di ricostruire, per l'arco temporale di circa quattrocentomila anni, curve di perfetta covarianza di temperatura atmosferica e contenuto di CO<sub>2</sub> e metano (due dei principali gas serra). Un'altra perforazione che ha superato i 3000 metri di profondità è quella effettuata in prossimità della stazione franco-italiana Concordia; attraverso la covarianza di temperatura e contenuto di CO<sub>2</sub> e metano è stato possibile ricostruire ben sette cicli climatici della durata approssimativa di centomila anni ciascuno.



1. Carota di ghiaccio recuperata da un sondaggio profondo nella calotta antartica presso la stazione franco-italiana Concordia.

I risultati ottenuti dalle perforazioni profonde del ghiaccio polare mettono chiaramente in evidenza che: a) un parametro fondamentale del clima come la temperatura varia ciclicamente con escursioni di 6-12 gradi; b) quando la temperatura raggiunge i valori massimi, anche la  $CO_2$  e il

metano raggiungono i livelli più alti (rispettivamente 280-300 ppm e ca. 700 ppb) in atmosfera (fig. 2). È inoltre di estremo interesse notare che negli ultimi ottocentomila anni questi due gas serra non hanno mai toccato valori paragonabili a quelli raggiunti nell'atmosfera attuale (fig. 2).



2. a) Variazione del contenuto di anidride carbonica (in rosso, in parti per milione, ppm) e del metano (in verde, in parti per miliardo, ppb) nell'atmosfera negli ultimi ottocentomila anni in base all'analisi delle bolle d'aria nella carota di ghiaccio EPICA Dome C (Luthi *et al.*, 2008; Loulergue *et al.*, 2008), in confronto con la ricostruzione della temperatura (curva in nero, espressa come variazione rispetto alla media del passato millennio) in base al rapporto deuterio-idrogeno nel ghiaccio. Le attuali concentrazioni di gas serra in atmosfera sono anomale rispetto alle variazioni naturali. b) Variazione delle concentrazioni dell'anidride carbonica (in ppm) e del metano (in ppb) negli ultimi duemila anni (MacFarling Meure *et al.*, 2006; [www.cmdl.noaa.gov/infodata/ftpdata.html](http://www.cmdl.noaa.gov/infodata/ftpdata.html)).

## I cambiamenti climatici in atto

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), istituito dall'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) e dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), è indubbiamente l'istituzione più autorevole al mondo per quanto riguarda la problematica dei cambiamenti climatici a scala globale e regionale. Uno dei risultati più importanti del suo quinto rapporto pubblicato nel 2013 è quello di appurare che (con riferimento alla temperatura media alla superficie terrestre del periodo 1961-1990) ciascuno degli ultimi tre decenni è stato nell'ordine il più caldo rispetto a qualsiasi precedente decennio, sin dal 1850. Uno dei suoi gruppi di lavoro ha inoltre curato il confronto, in termini di temperatura, tra i secoli XXI e XX e il passato; su questa base ha concluso che nell'emisfero settentrionale il periodo dal 1983 al 2002 è stato probabilmente il più caldo degli ultimi 1400 anni, superiore anche all'anomalia climatica del medioevo. L'analisi della serie temporale di variazione della CO<sub>2</sub> è un altro caposaldo della valutazione dell'IPCC. Tale serie, ricostruita sulla base delle bolle d'aria intrappolate nelle carote dei ghiacci antartici, è stata integrata con le misure dirette nell'atmosfera per gli ultimi sessant'anni. La quantità di CO<sub>2</sub>, più alta del 40% rispetto al valore pre-industriale, confrontata con i dati raccolti con la perforazione EPICA a Dome C ha condotto alla conclusione che le concentrazioni di CO<sub>2</sub>, ma anche di metano e ossido di azoto, sono arrivati a livelli (rispettivamente di 400 ppm e 1700 ppb) mai raggiunti negli ultimi ottocentomila anni.

Tra le possibili cause del riscaldamento terrestre ("effetto serra") sono da mettere in evidenza i gas immessi in atmosfera dalle attività umane, i composti che formano l'aerosol, l'entità della radiazione solare e dell'attività vulcanica, la variabilità interna del sistema climatico; di queste cause, la prima è da ritenersi quella maggiormente responsabile del riscaldamento osservato dalla metà del XX secolo a oggi (circa 0,6 °C). Il messaggio più importante del rapporto

dell'IPCC è che se nel prossimo futuro non vi saranno concreti interventi che conducano alla riduzione delle emissioni e/o alla sottrazione di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, con l'attuale ritmo di crescita delle emissioni alla fine del XXI secolo andremo incontro a un ulteriore riscaldamento di 4-5 °C. A seguito di ciò sono da attendersi modifiche della quantità delle precipitazioni nel tempo e nelle diverse aree della terra con conseguenze sulle risorse naturali e sugli ecosistemi. In particolare, aumenteranno le precipitazioni nelle aree tropicali e alle alte latitudini; nelle regioni extra-tropicali, invece, si assisterà a un incremento dell'aridità. Nell'insieme si può dire che il ciclo idrologico subirà una sorta di accelerazione e aumenterà il trasferimento di acqua dalle basse alle alte latitudini; tutto questo determinerà un significativo aumento del contrasto nelle precipitazioni, sia tra le regioni secche e umide sia tra le stagioni secche e umide, con importanti ricadute per l'agricoltura.

Il cambiamento climatico in atto avrà un grande impatto anche sulle aree costiere per l'innalzamento del livello medio globale del mare. Il rapporto dell'IPCC, infatti, riporta una valutazione (che include, come fattori, l'espansione termica degli oceani, l'aumentata fusione dei ghiacciai montani, la riduzione della calotta antartica e della Groenlandia) della possibile variazione del livello marino; questo, già salito negli ultimi cento anni di 19 centimetri, nell'ipotesi che si continui con emissioni non controllate risalirà ancora nel XXI secolo, con stime oscillanti tra 52 e circa 100 centimetri nel 2100.

### **La piattaforma continentale antartica: archivio paleoclimatico per comprendere la dinamica delle calotte nel passato e nel futuro**

La frase usata come titolo per questo contributo è estratta da un concetto espresso dal presidente degli Stati Uniti Bill Clinton nel 1999, in occasione di una sua visita alla base di partenza della spedizione americana Deep Freeze a

Christchurch (Nuova Zelanda). Evidentemente il presidente aveva chiara la percezione che, per poter formulare fondati modelli e scenari delle tendenze del clima futuro, è indispensabile disporre di una *base-line* dettagliata delle variazioni “naturali” alle quali il clima del pianeta è andato soggetto nel passato.

La scienza che si occupa di queste ricerche è la paleoclimatologia, la quale utilizza molteplici materiali in grado di registrare le variazioni ambientali e metodologie idonee a svelare la natura e l'entità di queste. Tra le finalità che si pone la paleoclimatologia c'è quella di contribuire, attraverso la conoscenza del passato, a migliorare le previsioni sul clima del futuro e magari orientare gli interventi di mitigazione del cambiamento e di adeguamento a esso.

Inoltre, è adesso condivisa la convinzione che molte delle variazioni climatiche che stiamo vedendo iniziare o che sono già in atto, resteranno attive per periodi di tempo molto lunghi, decenni o centinaia di anni. È solo attraverso gli archivi paleoclimatici che sarà possibile comprendere come alcuni dei componenti del sistema climatico (ad esempio le calotte di ghiaccio e il livello del mare, il ciclo del carbonio, i cambiamenti della circolazione oceanica), che rispondono lentamente, funzioneranno oltre la fine di questo secolo.

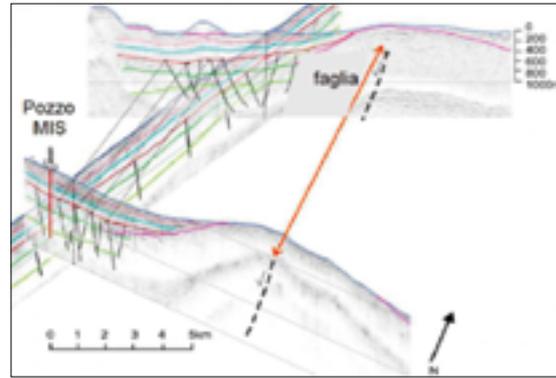
Da quanto scritto in precedenza emerge la seguente domanda: esiste nella storia della terra un periodo durante il quale la CO<sub>2</sub> ha raggiunto concentrazioni come le attuali o come quelle previste per il 2100? L'archivio climatico dei ghiacci polari, che al momento si estende non oltre gli ottocentomila anni, non contiene evidenze di contenuti di CO<sub>2</sub> in atmosfera elevati quanto quelli di oggi.

Questa situazione è però riscontrabile in un passato più remoto e precisamente durante l'*optimum termico* pliocenico (tra circa tre e 3,3 milioni di anni fa), allorché la CO<sub>2</sub> in atmosfera variava tra 350 e 400 ppm, la temperatura era 2-3 °C più alta e il livello marino 15-20 metri più elevato. E quale luogo della terra se non l'Antartide, dove sono presenti le più grandi calotte di ghiaccio del pianeta, per recuperare rocce di tale intervallo e

verificare gli effetti di gas serra e riscaldamento sulle calotte in condizioni simili a quelle previste per la fine secolo? A permettere di percorrere questa esperienza ha pensato ANDRILL (*ANtartic geological DRILLing*), un progetto in cui si sono concentrati gli sforzi della comunità scientifica internazionale (esso prevede la collaborazione di ricercatori, insegnanti, studenti, tecnici, esperti di perforazione e logistici di quattro nazioni: Germania, Italia, Nuova Zelanda e Stati Uniti) e che ha promosso perforazioni profonde nel Mare di Ross, in prossimità della costa antartica, per ricavarne informazioni cruciali sulla storia glaciale e ambientale del continente.

Il *McMurdo Ice Shelf* (MIS) è la prima iniziativa ANDRILL. Finanziata nella misura di oltre dieci milioni di euro (2/3 per la ricerca e la divulgazione, 1/3 per la logistica), essa è stata realizzata nella stagione estiva australe 2005-2006 dopo una complessa fase di messa a punto di un sistema di perforazione usato nell'industria mineraria e adattato ai requisiti scientifici richiesti e alle condizioni ambientali estreme che si trovano in Antartide. Dopo una dettagliata fase di rilievi geofisici, finalizzati all'individuazione dei siti idonei (fig. 3) per carotare, il complesso sistema di perforazione ha permesso di attraversare circa 1300 metri di depositi al di sotto degli 85 metri della piattaforma di ghiaccio (Ross Ice Shelf) e degli 850 metri di colonna d'acqua. Così facendo, è stato possibile andare più a ritroso nel tempo rispetto alle carote di ghiaccio; a fondo pozzo, infatti, sono stati ritrovati sedimenti che hanno un'età di circa quattordici milioni di anni.

La ricostruzione dell'evoluzione ambientale nella regione esplorata dal pozzo ANDRILL MIS è stata ottenuta attraverso uno studio che ha messo in campo la maggior parte delle moderne metodologie e tecnologie di indagine delle scienze della terra. Un ruolo chiave nell'interpretazione è stato giocato, in particolare, dalle ricerche sedimentologiche, petrografiche e paleontologiche, le quali hanno permesso una completa caratterizzazione dei depositi (analisi delle strutture, composizioni e contenuto in micro e macro-fossili) e la definizione dei loro processi di formazione. Le

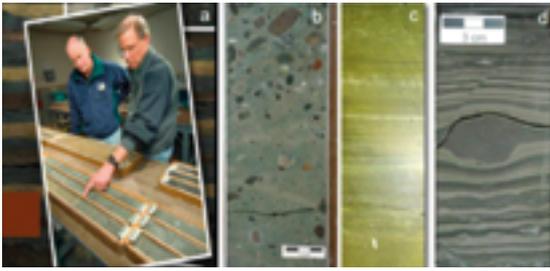


**3.** A sinistra: il monte Erebus e la piattaforma di ghiaccio di Ross, con veicoli attrezzati per i rilievi sismici necessari per l'identificazione del migliore sito per i carotaggi ANDRILL nella regione; a destra: esempio di sezioni sismiche nell'area del sito di perforazione ANDRILL MIS: le linee rappresentano superfici di riflessione delle onde sismiche legate a differenze di proprietà fisiche delle rocce attraversate. Molti riflettori sismici sono stati interpretati come superfici di erosione glaciale connesse con l'avanzata dei ghiacci sul fondale marino.

rocce più significative incontrate nel pozzo sono le diamictiti, le argilliti con ciottoli glaciali e le diatomiti (fig. 4); esse si presentano in strati di spessore variabile da pochi decimetri a diverse decine di metri. Le diamictiti, costituite da abbondanti clasti di varie dimensioni (a volte anche di oltre un metro di diametro) immersi in una matrice di natura sabbiosa e argillosa, devono la loro origine all'erosione, al trasporto e alla deposizione a opera dei ghiacciai. Le argilliti con ciottoli sono l'espressione di ambienti di transizione: fondali marini prossimi al fronte glaciale, con una significativa colonna d'acqua sottostante alla piattaforma di ghiaccio dalla quale vengono rilasciati i frammenti detritici più grossolani che si accumulano sul fondale (*ice rafted debris*). Sia il primo sia il secondo tipo di roccia si sono depositi rispettivamente durante le fasi di avanzata e di ritiro del fronte glaciale sul fondale marino. Le diatomiti sono rocce silicee formate principalmente da resti fossili di diatomee. Il loro ambiente deposizionale è quello di mare aperto perché solo in queste condizioni si verifica la proliferazione di tali organismi. Il rinvenimento di alcune specie tipiche di acque relativamente calde testimonia, inoltre, un mare sgombro da ghiaccio durante le stagioni invernali. La sequenza di diamictiti, argilliti e diatomiti (fig. 5) evidenzia, quindi, come da condizioni ambientali di grande espansione glaciale si sia passati a condizioni prossime al fronte glaciale al di sotto della piatta-

forma di ghiaccio (comparabili a quelle attuali) e, infine, a condizioni di mare aperto. Nonostante siano documentate lacune sedimentarie (esse sono da collegarsi soprattutto all'erosione glaciale), la ripetizione della sequenza mostra il succedersi di numerosi cicli climatici (trentotto nella successione che comprende l'*optimum climatico* del Pliocene). Nella parte ove i cicli sono completi (senza discontinuità nella sedimentazione) gli studi hanno identificato una frequenza di circa quarantamila anni. La corrispondenza con le variazioni secolari dell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre conferma l'importanza dei fattori astronomici sui cicli glaciale/interglaciale del passato. Grazie all'uso di modelli numerici, con i "supercomputer" è stata dimostrata la validità non solo locale (ovvero limitata all'area del sito di perforazione), ma addirittura continentale dei paleoambienti ricostruiti; ciò ha consentito di definire l'estensione e il volume dei ghiacci sull'intero continente e di stimare i conseguenti cambiamenti del livello medio del mare nei diversi stadi di massimo e di minimo glaciale.

La ricerca del progetto ANDRILL MIS ha rivelato ancora che circa tre milioni di anni fa, quando il contenuto di CO<sub>2</sub> in atmosfera era paragonabile a quello attuale e la temperatura media del pianeta due-tre gradi più elevata (quindi comparabile a quella prevista per la fine di questo secolo), la calotta dell'Antartide occidentale si è comportata in modo estremamente dinamico



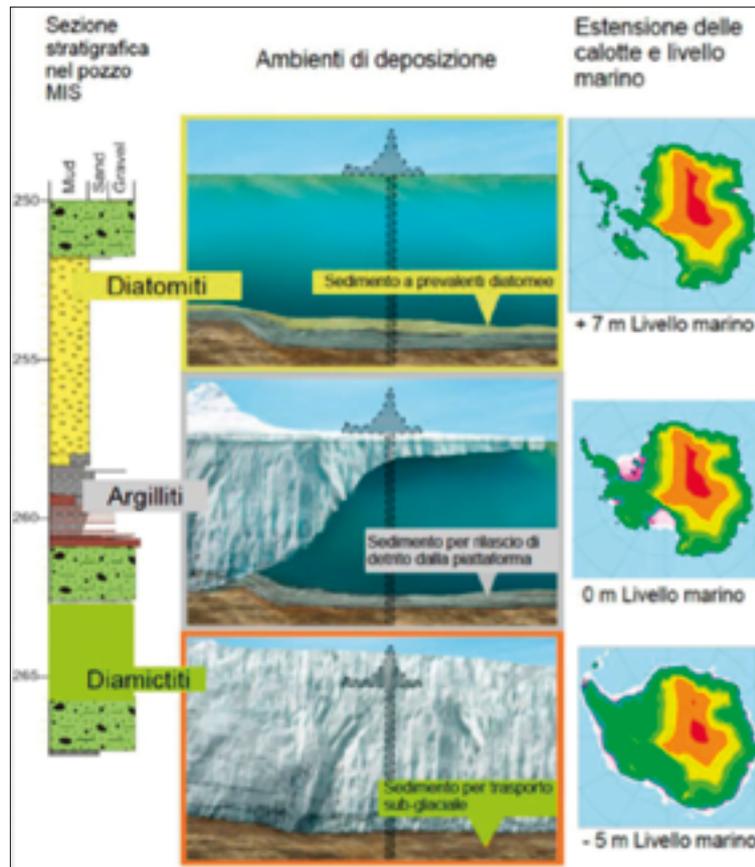
4. a) L'analisi delle carote del progetto ANDRILL è iniziata subito dopo il recupero presso la base statunitense di McMurdo e continua tuttora nei laboratori delle quattro nazioni coinvolte nel programma. I tre principali tipi di rocce, diamicriti (b), diatomiti (c) e argilliti con ciottoli glaciali (d), esprimono ambienti di deposizione e condizioni climatiche molto differenti, come evidenziato nella figura successiva.

risentendo perfino di piccole variazioni di temperatura. Più in particolare è stato evidenziato come la piattaforma di ghiaccio galleggiante nel Mare di Ross, che oggi ha una estensione simile a quella della Francia, sia andata progressivamente ritirandosi fino a dare spazio a condizioni di mare aperto nei periodi relativamente più caldi e come la calotta polare occidentale sia parzial-

mente collassata, con conseguente aumento del livello marino globale di oltre sei metri.

Il rapporto IPCC, che vuole fornire almeno "un'idea" di quello che potrebbe accadere nei prossimi decenni in conseguenza dell'aumento della temperatura globale, prende in considerazione i risultati ottenuti dal progetto ANDRILL pervenendo alle seguenti conclusioni: 1) sebbene la configurazione geometrica della posizione orbitale del nostro pianeta (ovvero i fattori astronomici che controllano la distribuzione della radiazione solare sul pianeta, e quindi il clima) siano favorevoli allo sviluppo di un nuovo massimo glaciale, vi è un'elevata probabilità che ciò non possa avvenire per gli attuali valori di CO<sub>2</sub> in atmosfera; 2) se il contenuto di CO<sub>2</sub> verrà mantenuto al livello di oggi per un significativo periodo di tempo, vi è una buona probabilità che il nostro pianeta sia destinato a vedere la completa scomparsa della calotta antartica occidentale e di parti di quella orientale.

5. La stratigrafia del pozzo ANDRILL MIS, ricostruita tra 250 e 267 m di profondità dal fondale marino (sezione corrispondente a un'età di circa tre milioni di anni fa), evidenzia una sequenza con diamicriti alla base (in verde, deposito glaciale), argilliti con ciottoli (sedimenti glaciomarini) in posizione intermedia e diatomiti (in giallo, deposito interglaciale) nella parte alta. Nella parte centrale della figura sono mostrati i corrispondenti ambienti di deposizione: da condizioni sub-glaciali a prossimali al fronte glaciale al di sotto della piattaforma di ghiaccio (comparabili a quelle attuali), fino a condizioni di mare aperto. A destra sono rappresentate le ricostruzioni paleogeografiche del continente (mediante modellizzazione numerica: Pollard & DeConto, 2009) relative ai tempi di deposizione delle rocce recuperate nel carotaggio. Esse indicano la variabilità di estensione delle calotte tra le condizioni attuali, quelle di massimo glaciale (con concomitante abbassamento livello marino di circa 5 m) e quelle interglaciali (con livello marino innalzato di circa 7 m) (modificato da Naish *et al.* 2009; McKay *et al.* 2009).



Lo stesso rapporto mette in grande risalto anche il fatto che non siamo ancora in grado di prevedere il comportamento delle calotte di ghiaccio ancorate sui fondali marini, come quella dell'Antartide occidentale, e quindi di poter effettuare fondate previsioni sulla risalita del livello medio marino.

Per cercare di rispondere a questo e ad altri fondamentali quesiti, la comunità scientifica è in fase finale di elaborazione di un'iniziativa internazionale per effettuare una nuova perforazione nel Mare di Ross in corrispondenza del Coulman High ([www.andrill.org](http://www.andrill.org)). Questa iniziativa mira a raccogliere rocce e sedimenti che

registrano i processi avvenuti al limite Eocene/Oligocene (circa trentacinque milioni di anni fa) e cioè in corrispondenza della transizione fra quando sul pianeta non vi erano ghiacci polari (*greenhouse Earth*) e l'attuale *icehouse Earth*. Il progetto permetterà di studiare e comprendere le modalità con le quali i sistemi fisici e biologici delle alte latitudini meridionali hanno risposto agli alti livelli di CO<sub>2</sub> in atmosfera nel passato, capire il comportamento e la dinamica delle calotte di ghiaccio polari durante le prime fasi del loro sviluppo e portare dati fondamentali per la formulazione di modelli di evoluzione del clima nel futuro.

### Testi citati e di approfondimento

Augustin L., Barbante C., Barnes P.R., Barnola J.M., Bigler M., Castellano E., Cattani O., Chappellaz J., Dahl-Jensen D., Delmonte B., Dreyfus G., Durand G., Falourd S., Fischer H., Flückiger J., Hansson M.E., Huybrechts P., Jugie G., Johnsen S.J., Jouzel J., Kaufmann P., Kipfstuhl J., Lambert F., Lipenkov V.Y., Littot G.C., Longinelli A., Lorrain R., Maggi V., Masson-Delmotte V., Miller H., Mulvaney R., Oerlemans J., Oerter H., Orombelli G., Parrenin F., Peel D.A., Petit J.R., Raynaud D., Ritz C., Ruth U., Schwander J., Siegenthaler U., Souchez R., Stauffer B., Steffensen J.P., Stenni B., Stocker T.F., Tabacco I.E., Udisti R., Van De Wal R.S., Van Den Broeke M., Weiss J., Wilhelms F., Winther J.G., Wolff E.W., Zucchelli M. & EPICA community members (2004) - Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429 (6992), 623-628.

IPCC (2013) - Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1-27. Cambridge University Press, Cambridge/ New York.

Lüthi D., Le Floch M., Bereiter B., Blunier T., Barnola J.-M., Siegenthaler U., Raynaud D., Jouzel J., Fischer H., Kawamura K., and Stocker T.F. (2008) - High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000 - 800,000 years before present. *Nature*, 453: 379-382.

Louergue L., A. Schilt, R. Spahni, V. Masson-Delmotte, T. Blunier, B. Lemieux, J.-M. Barnola, D. Raynaud, T. F. Stocker & J. Chappellaz (2008) - Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH<sub>4</sub> over the past 800,000 years. *Nature*, 453: 383-386.

Naish T., Powell R., Levy R., Wilson G., Scherer R., Talarico F., Krissek L., Niessen F., Pompilio M., Wilson T., Carter L., DeConto R., Huybers P., McKay R., Pollard D., Ross J., Winter D., Barrett P., Browne G., Cody R., Cowan E., Crampton J., Dunbar G., Dunbar N., Florindo F., Gebhardt C., Graham I., Hannah M., Hansaraj D., Harwood D., Helling D., Henrys S., Hinnov L., Kuhn G., Kyle P., Läufer A., Maffioli P., Magens D., Mandernack K., McIntosh W., Millan C., Morin R., Ohneiser C., Paulsen T., Persico D., Raine I., Reed J., Riesselman C., Sagnotti L., Schmitt D., Sjunneskog C., Strong P., Taviani M., Vogel S., Wilch T., Williams T. (2009) - Obliquity-paced Pliocene West Antarctic ice Sheet oscillations. *Nature*, 458 (7236): 322-328.

MacFarling Meure C., Etheridge D., Trudinger C., Steele P., Langenfelds R., van Ommen T., Smith A. & Elkins J. (2006) - Law Dome CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O ice core records extended to 2000 years BP. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L14810.

McKay R., Browne G., Carter L., Cowan E., Dunbar G., Krissek L., Naish T., Powell R., Reed J., Talarico F. & Wilch T. (2009) - The stratigraphic signature of the late Cenozoic Antarctic Ice Sheets in the Ross Embayment. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 121(11-12): 1537-1561.

Pollard D. & DeConto R.M. (2009) - Modelling West Antarctic ice sheet growth and collapse through the past five million years. *Nature*, 458 (7236) : 329-332.

[www.andrill.org](http://www.andrill.org)  
[www.cmdl.noaa.gov/infodata/ftpdata.html](http://www.cmdl.noaa.gov/infodata/ftpdata.html)  
[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

# Emergenze floristiche e vegetazionali del bacino idrografico del fosso La Bolza (Val di Merse, Toscana meridionale)

Marco Landi<sup>1</sup>, Flavio Frignani<sup>2</sup>, Ilaria Bonini<sup>3</sup>, Gianmaria Bonari<sup>3</sup>, Riccardo Corbini<sup>1</sup>, Carlo Saveri<sup>1</sup>, Claudia Angiolini<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Corpo Forestale dello Stato, Ufficio Territoriale per la Biodiversità, via Cassia Nord 7, 53100 Siena - landi21@unisi.it

<sup>2</sup> Pontificio Seminario Regionale “Pio XII”, via Montarioso 35, 53035 Monteriggioni (SI)

<sup>3</sup> Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, via P.A. Mattioli, 53100 Siena

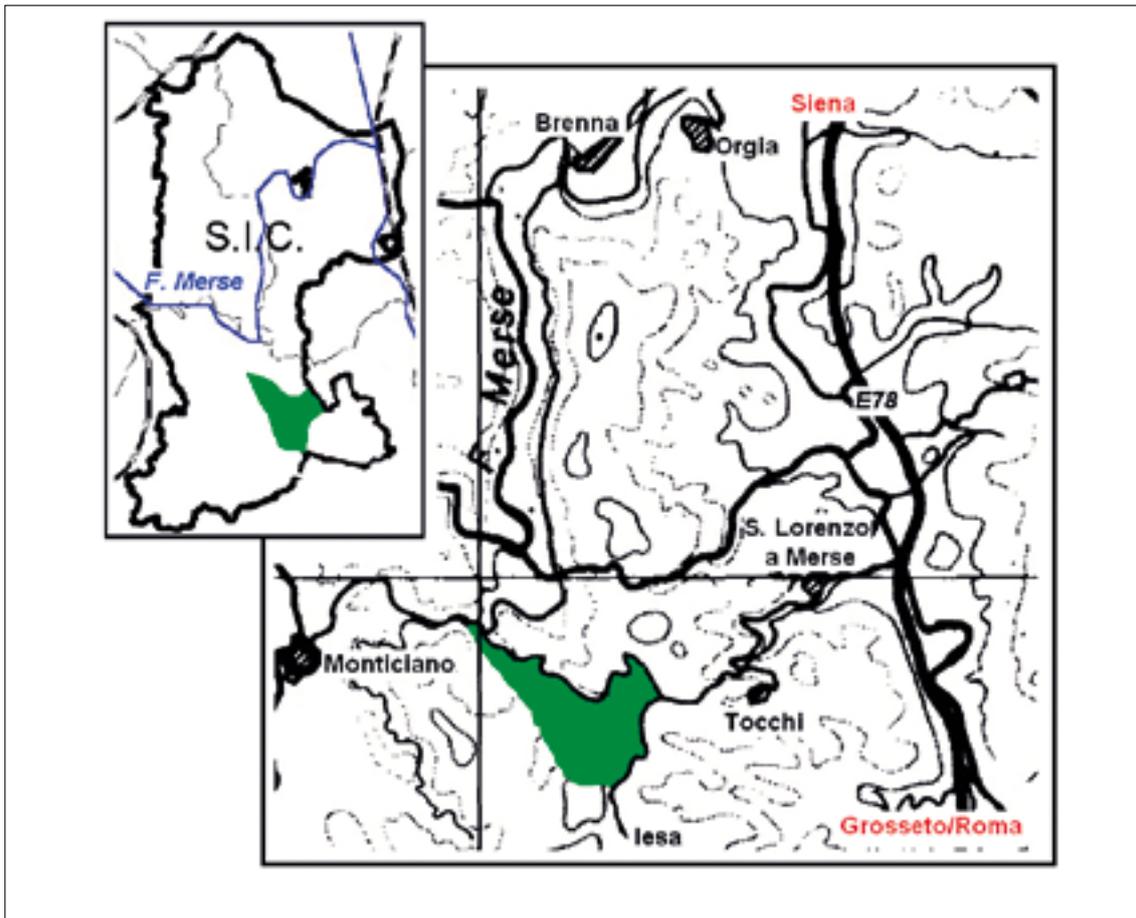
*Il bacino idrografico del fosso La Bolza può essere considerato, grazie alla presenza di numerose specie e comunità vegetali di interesse conservazionistico, un “hot spot” di biodiversità in Val di Merse e più in generale nelle colline della Toscana meridionale. In questo territorio sono presenti infatti due specie di sfagno e numerose piante vascolari che risultano rare e/o di elevato interesse fitogeografico per la Toscana. Tali piante vegetano in quest’area principalmente grazie all’estensione di ambienti peculiari, ormai divenuti rari e/o frammentari. L’habitat più interessante per numero di emergenze floristico-vegetazionali è sicuramente quello risorgivo palustre, dal quale si originano i numerosi fossi che vanno a confluire nel corso d’acqua principale. Meno diffuse, ma comunque degne di interesse, sono anche le piccole pozze temporanee dove vivono piante erbacee annuali rare e poco conosciute. Il buono stato di conservazione dell’area è stato favorito da diversi fattori come: la scarsa antropizzazione del territorio in cui è collocata, la presenza della Riserva Biogenetica “Tocchi” e l’inserimento nel Sito d’Importanza Comunitaria “Alta Val di Merse”. A oggi, continuare a tutelare questo scrigno di biodiversità, non alterandolo con interventi di natura antropica e forme di inquinamento, rimane una priorità.*

## Introduzione

Un’indagine storico-ambientale effettuata nel bacino idrografico del fosso La Bolza evidenzia come questo territorio sia posto in un’area poco antropizzata, con una densità di soli 12,8 abitanti per km<sup>2</sup>, una presenza turistica ridotta a circa un decimo rispetto ai comuni limitrofi e un’urbanizzazione limitata al paese di Monticiano (Siena), alle frazioni di Iesa e Tocchi. Allo scarso impatto demografico si aggiunge una differenza di quota molto elevata e un’estesa copertura forestale. La concomitanza di fattori geografico-morfologici e storici con una corretta gestione territoriale ha dunque permesso all’area de La Bolza di arrivare ai giorni nostri con un patrimonio ambientale ben conservato e meritevole di indagini naturalistiche.

Il fosso La Bolza nasce dalla confluenza dei fossi Buca Lupi, Ripudine e Cermogio, sul lato occidentale della catena di colline chiamate “Dorsale Monticiano-Roccastrada”. Il suo bacino idrografico (fig. 1) si sviluppa in una superficie di 375 ettari e presenta una topografia molto irregolare. Il dislivello altitudinale è di 307 m, con l’altitudine minima (250 m s.l.m.) che si trova nel punto in cui La Bolza confluisce con il torrente Gonna e quella massima (557 m s.l.m.) a Poggio Fontanelle.

Secondo la mappa geologica dell’Italia (Servizio Geologico d’Italia, 1968), la roccia madre è composta principalmente da Verrucano (scisti siltosi con quantità variabili di arenaria, arenaria pura, quarziti e anageniti) e in minima parte dalla Formazione di Tocchi (brecce con frammenti di scisti argillosi in una matrice carbonatica, strati



1. Localizzazione del bacino idrografico del fosso La Bolza (in verde) e principali località limitrofe. In alto a sinistra è riportato il confine del Sito d'Importanza Comunitaria "Alta Val di Merse".

carbonatici, microquarziti e scisti argillosi seritici-cloritici).

In base ai dati climatici (Landi *et al.*, 2009), nel bacino idrografico si registra una temperatura annua media di 14,3°C, mentre la media annuale delle precipitazioni, principalmente autunnali ed invernali, è di 991,8 mm. Tali dati sono però indicativi, perché l'area beneficia anche degli effetti mitiganti dei corsi d'acqua e dalla densa copertura forestale, che la ricopre quasi completamente. Dal punto di vista bioclimatico, rientra nel bioclimate temperato oceanico-semicontinentale (Blasi & Michetti, 2007) e la vegetazione potenziale è rappresentata da boschi misti decidui di *Quercetalia pubescenti-petraeae* (Biondi & Baldoni, 1994).

La sinistra idrografica del fosso è rimasta di proprietà privata, mentre il versante idrografico

destro, compreso in un'unica tenuta privata, è stato acquistato a metà degli anni sessanta dal Ministero dell'Agricoltura e Foreste. Tale circostanza, benché recente, ha cambiato il ruolo delle foreste presenti, che da risorsa prevalentemente economica sono divenute risorse naturali. Infatti, la foresta di pino marittimo (*Pinus pinaster*) di proprietà statale, che si estende per una superficie di 571 ettari, insieme al versante destro del bacino del fosso La Bolza che ne costituisce una propaggine, fu inserita nel Libro Nazionale dei Boschi da Seme (L.N.B.S., ed. 1975) e successivamente, con il Decreto del Ministero Agricoltura e Foreste del 13 luglio 1977, è divenuta Riserva Naturale Biogenetica di Tocchi. La protezione legislativa assicurata alle aree protette dalla legge n. 394 del 6 dicembre 1991 e la gestione effettuata dal Corpo Forestale dello Stato hanno permes-

so la conservazione di questo patrimonio naturale. Attualmente, l'intero bacino è compreso nel Sito d'Importanza Comunitaria Alta Val di Merse (IT5190006).

Dal punto di vista botanico, il comprensorio Farma-Merse è molto interessante come testimoniato dagli studi sulla flora e la vegetazione della valle del Farma (De Dominicis, 1969; De Dominicis & Casini, 1977, 1979; Chiarucci *et al.*, 1993; Morrocchi *et al.*, 1997; Bonini *et al.*, 1998; Landi & Angiolini, 2006; Da Vela *et al.*, 2013), di Pian di Feccia e Pian Ferrale (De Dominicis *et al.*, 1986; Mariotti *et al.*, 1986) e del tratto medio-basso del fiume Merse (Landi *et al.*, 2002a, 2002b). L'interesse per l'area del fosso La Bolza, che non era mai stata oggetto di indagini floristico-vegetazionali, è scaturita da studi nelle aree limitrofe (Landi, 2006; Landi & Angiolini, 2007) e dalla necessità, da parte delle autorità locali, di redigere piani di gestione, che hanno portato alla realizzazione di un progetto Life-Natura 2000 per lo studio e la conservazione della diversità floristica e zoologica (Progetto LIFE-NATURA n. LIFE04NAT/IT/000190 "Tutela di siti Natura2000" gestiti dal Corpo Forestale dello Stato).

In questo articolo sono riportate le emergenze floristiche (briologiche e vascolari) e vegetazionali rilevate durante tali studi (Landi *et al.*, 2009), aggiornate con i ritrovamenti degli ultimi anni.

### **Individuazione delle emergenze floristiche e vegetazionali**

L'elenco delle emergenze floristiche è stato redatto grazie alle indagini di campo effettuate tra il 2005 e il 2013. I campioni raccolti sono conservati nell'*Herbarium Universitatis Senensis* (SIENA). Per le piante vascolari la nomenclatura segue Conti *et al.* (2005), mentre per il gruppo di *Dryopteris affinis* segue Fraser-Jenkins (2007). La nomenclatura delle briofite fa riferimento ad Aleffi *et al.* (2008).

Tra le emergenze floristiche sono state incluse le entità riportate nelle liste di attenzione (Lista

Rossa regionale della Toscana – Conti *et al.*, 1997; Repertorio Naturalistico Toscano – Re.Na.To.), quelle indicate come di interesse comunitario (Direttiva habitat 92/43 CEE) e quelle presenti nella Legge regionale 56/2000. Sono state inoltre indicate le specie non incluse in liste di attenzione, ma di interesse fitogeografico, in quanto classificabili all'interno di una delle seguenti categorie: i) specie endemiche; ii) specie al limite dell'areale; iii) specie rare e/o con distribuzione frammentaria; iiiii) specie eterotopiche, ovvero entità che per particolari situazioni topografiche, geopedologiche e climatiche si ritrovano ad altitudini notevolmente superiori o inferiori a quelle dove generalmente vivono. Per l'individuazione delle emergenze vegetazionali sono stati effettuati rilievi secondo il metodo di Braun-Blanquet (1932), poi assegnati a singole associazioni o comunità riconosciute dalla letteratura esistente e infine confrontati ed eventualmente riferiti ai tipi vegetazionali utilizzati per indicare gli habitat di interesse comunitario (o prioritari) (si veda *Manuale italiano di interpretazione degli habitat* della Direttiva 92/43/CEE, <http://vnr.unipg.it/habitat/>).

### **Emergenze floristiche**

Le indagini briologiche hanno permesso di individuare le seguenti emergenze (presenti nella Legge regionale 56/2000 e Direttiva habitat 92/43 CEE): *Leucobryum glaucum*, un muschio a portamento acrocarpo, che forma pulvini densi e compatti; *Sphagnum subnitens* e *S. capillifolium*, due specie di sfagno, che nell'area di studio si trovano nelle risorgive palustri sui cespi della felce *Osmunda regalis*, formando piccoli tappeti di torba. La presenza di sfagni nella Toscana meridionale a bassa quota è di particolare interesse fitogeografico, in quanto esiste solo una segnalazione precedente nei boschi del Belagaio, a circa 8 km di distanza dalla nostra area di studio (Bonini *et al.*, 1998). La flora briologica dimostra che le condizioni microclimatiche del fosso La Bolza hanno permesso la conservazione di spe-



2. *Erythronium dens-canis* all'interno del bosco di cerro e rovere. È una specie vivente esclusivamente nei querceti mesofili e acidofili che trovano nel bacino del fosso La Bolza il loro limite meridionale di distribuzione.

**Tabella 1. Emergenze floristiche**

<i>Aquilegia vulgaris</i> (*) (**)	<i>Gnaphalium uliginosum</i> (*)	<i>Radiola linoidea</i> (*)
<i>Allium pendulinum</i> (*)	<i>Ilex aquifolium</i> (***)	<i>Ruscus aculeatus</i> (*) (***)
<i>Carex pallescens</i> (*)	<i>Juncus bulbosus</i> (*)	<i>Scabiosa uniseta</i> (*)
<i>Digitalis micrantha</i> (*)	<i>Lathraea squamaria</i> (*)	<i>Scilla bifolia</i> (*)
<i>Dryopteris affinis</i> (*)	<i>Leucobryum glaucum</i> (*)	<i>Sphagnum capillifolium</i> (*) (**)
<i>Dryopteris dilatata</i> (*)	<i>Lilium bulbiferum</i> (*) (**)	<i>Sphagnum subnitens</i> (*) (**)
<i>Erythronium dens-canis</i> (*) (**)	<i>Narcissus pseudonarcissus</i> (*) (***)	<i>Tuberaria lignosa</i> (*)
<i>Frangula alnus</i> (*)	<i>Osmunda regalis</i> (*) (**)	
<i>Galanthus nivalis</i> (*) (***)	<i>Primula vulgaris</i> (***)	

**3.** Scarpata al margine di un fosso con *Blechnum spicant*. Questa felce, poco frequente in Toscana, si ritrova essenzialmente nelle ontanete delle risorgive e nei tratti iniziali dei corsi d'acqua.



**4.** Ambiente di risorgiva palustre con *Osmunda regalis*. Questa felce, rara in Italia, caratterizza le ontanete di risorgiva e dei tratti iniziali dei corsi d'acqua.





5. *Gnaphalium uliginosum* (esemplare raccolto nel fosso La Bolza e conservato nell'Herbarium Universitatis Senensis, Siena): terofita legata ad ambienti fangosi sul bordo di stagni e rara ovunque. Si tratta del primo ritrovamento in Val di Merse.

cie tipiche delle torbiere montane dell'Europa settentrionale e atlantica, delle Alpi e Appennino, testimoniando il carattere relittuale di queste

popolazioni di briofite a bassa quota. Da sotto-lineare inoltre la presenza di: *Dicradontium denudatum* e *Mnium licopodioides*, due muschi con distribuzione boreale-montana non più segnalati in Toscana dopo il 1950.

Le ricerche sulle piante vascolari hanno permesso di individuare due entità della Lista Rossa regionale della Toscana (Conti *et al.*, 1997). Una di queste è *Juncus bulbosus* (classificata come a basso rischio - LR), la cui ecologia è ristretta ai prati torbosi e alle paludi con acque neutro-acide e povere in nutrienti; nell'area qui studiata è presente con poche piante localizzate al margine delle risorgive palustri. L'altra è invece *Erythronium dens-canis* (fig. 2) (classificata come

**Tabella 2. Carici pallescentis-Alnetum glutinosae**

Numero rilievo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Altitudine m (s.l.m.)	345	350	335	330	320	435	435	430	418	406	375	404	410	420	416	411	426
Esposizione	NW	NW	NE	NE	NE	N	N	N	NW	NE	NW	N	W	NW	NW	W	N
Superficie rilevata (m <sup>2</sup> )	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Copertura totale (%)	90	95	95	95	85	80	70	85	95	90	95	90	85	95	90	90	95
Copertura arborea (%)	85	85	55	70	70	65	65	60	35	65	70	80	20	90	80	90	5
Copertura arbustiva (%)	5	5	0	0	0	5	5	0	0	0	30	40	0	3	0	0	3
Copertura erbacea (%)	35	20	75	80	70	35	30	65	95	80	55	60	85	55	20	45	90
Copertura di licheni e muschi (%)	25	25	20	5	18	0	0	5	45	45	25	35	40	45	20	10	0
Numero di specie	12	11	13	14	14	14	19	13	19	17	19	18	19	10	11	15	8
<b>Specie caratt. di ass.</b>																	
<i>Ilex aquifolium</i>	1	1	1	+	+	1	1	+		+	2	2	+	1	+	+	
<i>Blechnum spicant</i>	+		2	2	2	1	+	+	2	2	1	1					
<i>Carex pallescens</i>			+	+	+		+		+			+	+	+		+	
<i>Hypericum androsaemum</i>					+				1	+			+				
<b>Specie caratt. di syntaxa superiori</b>																	
<i>Osmunda regalis</i>	2	2	4	4	3	2	2	4	5	4	2	3	3	2	2	2	4
<i>Alnus glutinosa</i>	2	2	2	3	4	2	1	2	3	4	4	4	2	3	1	2	
<i>Fraxinus ornus</i>	1	1	2	2	1	3	1	2	+	+	3	2	+	3	1	2	
<i>Carex remota</i>	+	+	1	2	3	2	+	1	3	3	+	1	+				
<i>Pteridium aquilinum</i>	2	2	+	+	+	+	2	1	+	2	1	2	4	3	1	2	1
<i>Rubus hirtus</i>	+	+	+	+	+	1	1	1	+	+	1	+	+	1	+	+	+
<i>Castanea sativa</i>	3	3	2	2	1	2	3	2	+				+	4	5	+	1
<i>Hedera helix</i>				+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Populus tremula</i>												+	+	+	+	+	4
<i>Anemone nemorosa</i>									+	+			+				
<i>Carex sylvatica</i>						+			+								1
<i>Teucrium scorodonia</i>													+				+
<i>Brachypodium sylvaticum</i>										+							+
<i>Viola reichenbachiana</i>																	r
<i>Fagus sylvatica</i>	1																
<i>Melica uniflora</i>		+															
<i>Viola alba</i> subsp. <i>dehnardtii</i>							+										

vulnerabile - VU), specie che vive all'interno dei querceti mesofili e acidofili caratterizzati dalla rovere (*Erythronio - Quercion petraeae*); che nel bacino del fosso La Bolza sono da considerarsi al limite meridionale della loro distribuzione.

Una specie (*Carex viridula*) è invece inserita nel Repertorio Naturalistico Toscano (Re.Na.To) dove è considerata in pericolo. È infatti una specie tipica dei biotopi palustri, poco frequente in Toscana e con ampie lacune in tutto il territorio italiano.

In tabella 1 sono riportate le briofite e le piante vascolari presenti nella Direttiva Habitat 92/43 CEE e/o nella Legge regionale 56/2000, accompagnate dai simboli che ne identificano lo status: (\*) entità di interesse conservazionistico a livello regionale e/o nazionale; (\*\*) specie protette; (\*\*\*) specie soggette a limitazioni di raccolta:

Gli endemismi rinvenuti in questo territorio sono ad areale peninsulare (*Digitalis micrantha*, *Scabiosa uniseta* e *Phyteuma scorzonerifolium*). Le entità vicine al limite della loro distribuzione sono legate a brughiere (*Calluna vulgaris*, *Pinus pinaster*, *Tuberaria lignosa*), boschi sempreverdi mediterranei (*Viburnum tinus*) e foreste di cerro e rovere

(*Physospermum cornubiense* e *Teucrium scorodonia*). Le entità rare e/o con distribuzione frammentaria sono invece diffuse principalmente nelle risorgive e nei corsi d'acqua (*Blechnum spicant* - fig. 3 -, *Carex viridula*, *Dryopteris affinis*, *D. borrieri*, *D. dilatata*, *Frangula alnus*, *Isolepis cernua*, *Juncus bulbosus*, *Lathraea squamaria*, *Osmunda regalis* e *Phyllitis scolopendrium*), nelle pozze temporanee (*Anagallis minima* e *Radiola linoides*) e nelle foreste di cerro e rovere (*Carex digitata*, *Erythronium dens-canis*, *Lilium bulbiferum* subsp. *croceum* e *Scilla bifolia*). In particolare, *O. regalis* forma popolazioni molto estese nelle risorgive palustri (fig. 4) e proprio il bacino idrografico della Bolza è parte dell'area dove è stata registrata la maggior abbondanza di questa specie in Toscana meridionale (Landi & Angiolini, 2008). Due specie, *Fagus sylvatica* e *Daphne gnidium*, possono essere considerate eterotopiche. Da sottolineare che *Isolepis cernua*, *Juncus bulbosus*, *Radiola linoides* e *Anagallis minima*, erano note in Toscana meridionale solo a Monte Leoni (Selvi, 1998). Si evidenzia inoltre come *Carex viridula* e *Dryopteris dilatata* siano entità nuove per la Toscana meridionale, mentre *Gnaphalium uligi-*

**Tabella 3. Carici pallescentis-Alnetum glutinosae (segue)**

<i>Physospermum cornubiense</i>	+											
<i>Sorbus torminalis</i>	1											
<i>Carex pendula</i>	r											
<i>Corylus avellana</i>	+											
<i>Campanula trachelium</i>	+											
<i>Prunus spinosa</i>	+											
<b>Specie caratt. di Phragmito-Magnocaricetea e Molinio-Arrhenatheretea</b>												
<i>Molinia arundinacea</i>	+	1	+	1	+	1	1	2	+	+	2	3
<i>Lysimachia vulgaris</i>								+	+	2	+	+
<i>Juncus effusus</i>			+	+	+						+	+
<i>Juncus inflexus</i>						+			+		+	+
<i>Lythrum salicaria</i>								+	r		+	
<i>Eupatorium cannabinum</i>			+								+	
<i>Phragmites australis</i>												
<b>Altre:</b> ril. 1 - <i>Erica arborea</i> +; ril. 2 - <i>Polygonatum multiflorum</i> +; ril. 4 - <i>Frangula alnus</i> 1; ril. 6 - <i>Frangula alnus</i> +, <i>Pinus pinaster</i> +; ril. 7 - <i>Athyrium filix-femina</i> +, <i>Juniperus communis</i> +, <i>Pinus pinaster</i> +, <i>Salix cinerea</i> +; ril. 8 - <i>Frangula alnus</i> 1; ril. 9 - <i>Athyrium filix-femina</i> 1, <i>Frangula alnus</i> +; ril. 10 - <i>Callitriche stagnalis</i> +; ril. 11 - <i>Erica scoparia</i> +, <i>Frangula alnus</i> 1, <i>Juncus bufonius</i> +, <i>Quercus ilex</i> +; ril. 12 - <i>Brachypodium rupestre</i> +, <i>Dryopteris dilatata</i> +, <i>Erica arborea</i> +, <i>Frangula alnus</i> 2, <i>Pinus pinaster</i> +; ril. 13 - <i>Erica arborea</i> +, <i>Frangula alnus</i> +; ril. 15 - <i>Brachypodium rupestre</i> +; ril. 16 - <i>Erica arborea</i> +, ril. 17 - <i>Arbutus unedo</i> 1, <i>Erica arborea</i> +.												

*nosum* (fig. 5), una composita presente in tutto il territorio italiano, ma ovunque assai rara, non era mai stata ritrovata prima in Val di Merse.

## Emergenze vegetazionali

Lo studio fitosociologico ha permesso di individuare quattro tipi di vegetazione (qui indicati come 1, 2, 3 e 4) che possono essere considerati emergenze vegetazionali in quanto riconducibili

li a tre habitat (qui indicati come A, B e C) di Interesse Comunitario (Direttiva 92/43 CEE) (A con il tipo vegetazione 1 e 2, B con il tipo 3, C con il tipo 4).

### A. Foreste di *Alnus glutinosa*

Nell'area del fosso La Bolza sono stati individuati due tipi di ontaneta (indicati sotto con 1 e 2) riferibili all'habitat prioritario "Foreste alluvionali con *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior*" (Codice NATURA 2000: 91E0; Codice CORINE: 44.3).

### A.1) Boschi igrofilo degli ambienti di risorgi-

**Tabella 4. Aro italicum-Alnetum glutinosae**

Numero rilievo	1	2
Altitudine m (s.l.m.)	265	270
Superficie rilevata (m <sup>2</sup> )	200	200
Copertura totale (%)	95	90
Copertura arborea (%)	80	80
Copertura erbacea (%)	25	30
Copertura di licheni e muschi (%)	70	60
Numero di specie	2	5
Numero di specie	17	18
<b>Specie caratt. di ass.</b>		
<i>Alnus glutinosa</i>	3	4
<i>Arum italicum</i>	+	+
<b>Specie caratt. di <i>Alnion incanae</i> e <i>Populetalia albae</i></b>		
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	+	
<i>Sambucus nigra</i>		+
<b>Specie caratt. di <i>Fagetalia</i></b>		
<i>Mercurialis perennis</i>	4	4
<i>Anemone nemorosa</i>	+	+
<i>Mycelis muralis</i>	+	
<i>Euonymus europaeus</i>	+	
<i>Melica uniflora</i>		+
<i>Euphorbia dulcis</i>		+
<i>Cardamine bulbifera</i>		+
<i>Carpinus betulus</i>		+
<b>Specie caratt. di <i>Querco-Fagetea</i></b>		
<i>Corylus avellana</i>	3	3
<i>Clematis vitalba</i>	1	+
<i>Fraxinus ornus</i>	+	
<i>Ilex aquifolium</i>	+	
<i>Cornus sanguinea</i>	+	
<i>Tamus communis</i>	+	
<i>Crataegus monogyna</i>		1
<i>Hedera helix</i>		1
<i>Primula vulgaris</i>		
<b>Altre:</b> ril. 1 - <i>Lilium bulbiferum</i> subsp. <i>croceum</i> +, <i>Poa trivialis</i> subsp. <i>sylvicola</i> +, <i>Robinia pseudacacia</i> 1, <i>Viola alba</i> subsp. <i>dehnhardtii</i> +; ril. 2 - <i>Cruciata laevipes</i> +, <i>Poa trivialis</i> subsp. <i>sylvicola</i> +, <i>Robinia pseudacacia</i> 1, <i>Ruscus aculeatus</i> +, <i>Viola alba</i> subsp. <i>dehnhardtii</i> +.		

va con *Alnus glutinosa* e *Osmunda regalis* (*Carici pallescentis-Alnetum glutinosae* Landi & Angiolini, 2010; tab. 2)

Si tratta di ontanete localizzate nella parte a monte dei corsi d'acqua (per esempio in corrispondenza di risorgive), dove il substrato ha ancora caratteristiche oligotrofiche. La loro ecologia è peculiare perché mostrano caratteristiche palustri e riparie per la presenza di un lento scorrimento superficiale che genera i fossi più a valle.

Lo strato arboreo è dominato da *Alnus glutinosa*, associato a *Castanea sativa* e *Fraxinus ornus*. Lo strato arbustivo è invece caratterizzato dalla presenza di *Rubus hirtus*, *Ilex aquifolium* e *Frangula alnus*. Tra le entità erbacee più frequenti troviamo *Blechnum spicant*, *Carex remota*, *Osmunda regalis*; nei margini è diffuso *Pteridium aquilinum*. La presenza di specie come *Blechnum spicant*, *Carex pallescens*, *Ilex aquifolium* e *Hypericum androsaemum* rende possibile riferire questi rilievi all'associazione *Carici pallescentis-Alnetum glutinosae*, mentre quella di *Osmunda regalis*, *Fraxinus ornus* e *Teucrium scorodonia*, conferma la loro assegnazione all'*Osmundo-Alnion*, come riportato da Landi & Angiolini (2010). Dove il terreno si eleva leggermente e anche negli impluvi dove l'acqua superficiale diminuisce, l'associazione subisce vari stadi di degenerazione. Questo processo porta all'invasione da parte di specie pioniere e/o meno igrofile quali *Populus tremula*, *Pteridium aquilinum* e *Castanea sativa*. Negli ambienti più aperti si insediano cenosi paucispecifiche in cui *Osmunda regalis* è dominante; le elevate coperture di *Osmunda* permettono infatti la presenza solo di poche altre specie competitive come *Phragmites australis*, *Pteridium aquilinum* e *Molinia arundinacea* (si veda rilievo n. 17).

A.2) Boschi igrofilo ripariali ad *Alnus glutinosa* (*Aro italici-Alnetum glutinosae* Gafta & Pedrotti, 1995; tab. 3)

Si tratta di piccole ontanete che si insediano in modo frammentato lungo i primi terrazzi fluviali elevati circa 50-100 cm rispetto all'acqua corrente, dove il substrato è più ricco in sostanza organica e ricoperto da una spessa lettiera e ramaglia. Lo strato arboreo è denso e dominato da *Alnus*

*glutinosa*. Lo strato arbustivo è alto circa 5 m ed è costituito da piante di *Corylus avellana* ramificate in più fusti fin dalla base. La copertura erbacea, molto povera in specie, è dominata da *Mercurialis perennis*. Il clima fresco, mantenuto da un'evidente esposizione NE del corso d'acqua che scorre tra versanti ripidi, favorisce la presenza di specie mesofile dei *Fagetalia* (per esempio *Cardamine bulbifera*, *Melica uniflora*, *Euonymus europaeus* ecc.). Nel tratto medio-alto del fosso questa ontaneta va a costituire la prima fascia di vegetazione arborea a contatto con l'acqua corrente, mentre più a valle e alla confluenza con il torrente Gonna è sostituita dal saliceto arbustivo. Tali ontanete ripariali, a volte sottoposte all'azione diretta delle acque correnti, mantengono elevate condizioni di ossigenazione per una buona permeabilità del substrato e per l'inclinazione del terrazzo che riduce la possibilità di ristagno d'acqua.

In considerazione delle caratteristiche ecologiche, per il fatto che si trovano nell'alveo dei corsi d'acqua superiori (Pedrotti & Gafta, 1996), per la presenza di una copertura arborea monospecifica ad *Alnus glutinosa* e l'assenza di *Fraxinus oxycarpa*, e per il contingente specifico che le distingue (*Arum italicum*, *Brachypodium sylvaticum*, *Cornus sanguinea*, *Cardamine bulbifera*, *Poa trivialis*, *Sambucus nigra* e *Viola alba* subsp. *dehnardtii*), queste ontanete possono essere attribuite all'associazione *Aro italici-Alnetum glutinosae* della suballeanza *Alnenion glutinoso-incanae* (Gafta & Pedrotti, 1995).

B. Boschi di *Castanea sativa*

Sono riferibili all'habitat di Interesse Comunitario "Boschi di *Castanea sativa*" (Codice NATURA 2000: 9260; Codice CORINE: 44,9).

B. 3) Castagneti termofili e subxerici (*Arbuto unedi-Castanetum sativae* Arrigoni & Viciani, 2001; tab. 4)

I boschi di castagno sono situati nelle parti medio-alte dei versanti. Sono prevalentemente governati a ceduo e in parte derivati da vecchi castagneti da frutto ormai abbandonati. Questi rappresentano un aspetto in netta evoluzione verso le tipologie vegetazionali più naturali rispetto a quelle fortemente antropizzate del passato; si-

**Tabella 5. *Arbuto unedi-Castanetum sativae***

Numero rilievo	1	2	3
Altitudine m (s.l.m.)	460	415	420
Esposizione	E	N	NW
Superficie rilevata (m <sup>2</sup> )	400	400	400
Copertura totale (%)	95	95	90
Copertura arborea (%)	90	95	90
Copertura arbustiva (%)	25	10	15
Copertura erbacea (%)	20	5	5
Copertura di licheni e muschi (%)	5	1	0
Numero di specie	12	11	18
<b>Specie caratt. di ass.</b>			
<i>Arbutus unedo</i>	2	+	2
<i>Rubia peregrina</i>	+		
<b>Specie caratt., diff. e trasgr. di <i>Teucrio siculi-Quercenion cerridis</i></b>			
<i>Erica scoparia</i>	+		+
<i>Cytisus scoparius</i>			+
<b>Specie caratt. di <i>Erythronio dens-canis-Quercion petraeae</i></b>			
<i>Quercus petraea</i>		+	2
<i>Anemone nemorosa</i>			+
<b>Specie di <i>Quercetalia pubescenti-petraeae</i></b>			
<i>Fraxinus ornus</i>	3	1	1
<i>Sorbus torminalis</i>	1	1	2
<i>Quercus cerris</i>	+	1	
<b>Specie di <i>Quercu-Fagetea</i></b>			
<i>Ilex aquifolium</i>	+	+	1
<i>Festuca heterophylla</i>		+	+
<i>Ruscus aculeatus*</i>		+	+
<i>Rubus hirtus</i>			+
<i>Hieracium murorum</i>			+
<i>Hedera helix</i>			+
<i>Brachypodium sylvaticum</i>			+
<i>Ajuga reptans</i>			
<b>Altre:</b> ril. 1 - <i>Brachypodium sylvaticum</i> +, <i>Castanea sativa</i> 4, <i>Molinia arundinacea</i> +, <i>Quercus ilex</i> 1, <i>Pteridium aquilinum</i> 2; ril. 2 - <i>Castanea sativa</i> 5, <i>Quercus ilex</i> +, <i>Pteridium aquilinum</i> 1; ril. 3 - <i>Castanea sativa</i> 4, <i>Quercus ilex</i> 1, <i>Pteridium aquilinum</i> 1, <i>Juniperus communis</i> +.			

tuaioni simili sono ormai riscontrabili anche in varie aree appenniniche e preappenniniche della Toscana (Arrigoni, 1998; Mondino & Bernetti, 1998). Derivano probabilmente, come riportato anche da Arrigoni (1998) e Arrigoni & Viciani (2001), da trasformazioni delle cerrete termo-acidofile (*Erico-Quercetum cerridis*). Per la presenza di specie caratteristiche (*Arbutus unedo* e *Rubia peregrina*) e di altre specie costanti (*Brachypodium sylvaticum*, *Rubus hirtus* e *Pteridium aquilinum*) (si veda Arrigoni, 1998), questi castagneti possono essere attribuiti all'associazione *Arbuto unedi-Ca-*

*stanetum sativae* (*Quercetalia pubescenti-petraeae*), già segnalata per la Val di Merse (Mondino & Bernetti, 1998). Tale associazione comprende i castagneti termofili dell'orizzonte collinare, debolmente acidofili, in genere impiantati in aree marginali dell'area potenziale del castagno, dove è presente una modesta aridità estiva (Arrigoni & Viciani, 2001). Le superfici di questi castagneti hanno probabilmente subito un notevole ridimensionamento a seguito della diffusione del pino marittimo (*Pinus pinaster*), favorito dall'uomo e dall'incendio.

**Tabella 6. Pratelli a *Radiola linoides* e *Anagallis minima***

Numero rilievo	1	2
Altitudine m (s.l.m.)	290	400
Esposizione	NW	W
Superficie rilevata (m <sup>2</sup> )	2	1
Copertura totale (%)	15	8
Numero di specie	15	11
<b>Specie caratt. di cenosi e di <i>Cicendion-Solenopsis laurentiae</i>*</b>		
<i>Radiola linoides</i> *	+	+
<i>Anagallis minima</i>	+	r
<b>Specie di <i>Isoeto-Nanojuncetea</i></b>		
<i>Juncus bufonius</i>	+	+
<i>Hypericum humifusum</i>	+	
<b>Specie di <i>Trachynietalia/Trachynietea distachyae</i></b>		
<i>Linum strictum</i>	r	
<i>Euphorbia exigua</i>	1	+
<i>Medicago minima</i>	+	1
<i>Cerastium pumilum</i>	r	
<b>Altre:</b> ril. 1 - <i>Blackstonia perfoliata</i> +, <i>Carex flacca</i> 1, <i>Catapodium rigidum</i> r, <i>Cerastium glomeratum</i> +, <i>Poa annua</i> +, <i>Ranunculus repens</i> r, <i>Veronica persica</i> r; ril. 2 - <i>Carex flacca</i> 1, <i>Erodium cicutarium</i> r, <i>Lotus corniculatus</i> +, <i>Plantago major</i> +, <i>Poa annua</i> +, <i>Reseda phyteuma</i> +.		

C. Vegetazione annuale delle pozze temporanee. Sono riferibili all'habitat di Interesse Comunitario "Acque stagnanti, da oligotrofe a mesotrofe, con vegetazione dei *Littorelletea uniflorae* e/o degli *Isoeto-Nanojuncetea*" (Codice NATURA 2000: 3130; Codice CORINE: 22.32).

C. 4) Pratelli a *Radiola linoides* e *Anagallis minima* (tab. 5).

Si tratta di pratelli di limitata estensione ricchi di piccole piante annuali (microfite) associate a poche erbe perenni (geofite ed emicriptofite), che si insediano nelle piccole depressioni umide su suoli sabbioso-limosi che raccolgono l'acqua piovana e di ruscellamento dei versanti. Questi pratelli sono rari nell'area della Bolza e localizzati prevalentemente al bordo delle brughiere (*Tuberario lignosae-Callunetum*) o dei castagneti (*Arbuti-Castanetum sativae*). Sono floristicamente poveri e caratterizzati da erbe annuali (terofite) come *Radiola linoides*, *Anagallis minima* e *Juncus bufonius*; frequenti sono anche specie dei *Trachynietalia distachyae*, come *Euphorbia exigua* e *Medicago minima*. Tuttavia, a causa dei pochi dati disponibili, non è possibile inquadrare tali rilievi a livello di associazione. A livello di alleanza invece, in accor-

do con lo schema proposto da Brullo & Minissale (1998) e considerando le affinità floristiche con i pratelli segnalati per l'isola di Capraia (Foggi & Grigioni, 1999), è possibile riferirli all'alleanza *Cicendion filiformis-Solenopsis*, che include prevalentemente comunità a fenologia precoce dell'area Mediterreanea con molte specie termofile dell'ordine *Isoetalia (Isoeto-Nanojuncetea)*.

## Conclusioni

Le particolari condizioni climatico-ambientali del bacino idrografico del fosso La Bolza (alto grado di umidità dell'aria e del suolo, pressoché assenza di un periodo siccitoso, moderato gradiente di temperatura e esposizione prevalentemente settentrionale) consentono la presenza di rare entità vegetali come: a) due specie di sfagno, che hanno trovato negli ambienti umidi del bacino le condizioni necessarie al loro sviluppo e che assumono qui il significato di relitti glaciali; b) specie vascolari centro-europee quali *Fagus sylvatica*, che qui risulta eterotopica in quanto si trova a quote molto inferiori rispetto alla fa-

scia altitudinale in cui vive preferenzialmente; c) felci quali *Blechnum spicant*, *Dryopteris* sp. pl. e *Osmunda regalis*, che assumono significato di relictivi terziari (Landi & Angiolini, 2007). Il mantenimento di questa biodiversità rappresenta quindi un compito imprescindibile. Per far ciò

occorre salvaguardare gli ambienti di risorgiva e i loro microclimi da ogni forma di alterazione e di inquinamento. A questo proposito si ricorda che la tutela delle ontanete riparie e di risorgiva è considerata prioritaria nella Direttiva Habitat del Ministero dell'Ambiente.

### Testi citati

Aleffi M., Tacchi R. & Cortini Pedrotti C. (2008) - *Check-list of the Hornworts, Liverworts and Mosses of Italy*. Bocconea, 22: 1-256.

Arrigoni P.V. (1998) - *La vegetazione forestale. Boschi e macchie di Toscana*. Regione Toscana, Giunta Regionale. Firenze.

Arrigoni P.V. & Viciani D. (2001) - *Caratteri fisionomici e fitosociologici dei castagneti toscani*. Parlatorea, 5: 55-99.

Biondi E. & Baldoni M. (1994) - *The climate and vegetation of peninsular Italy*. Colloques Phytosociologiques, 23: 675-721.

Blasi C. & Michetti L. (2007) - *Biodiversity and climate*. In: *Biodiversity in Italy. Contribution to the National Biodiversity Strategy* (Blasi C., Boitani L., La Posta S., Manes F. & Marchetti M., eds.), Palombi Ed., Roma, pp. 57-66.

Bonini I., Aleffi M., Morrocchi D., Chiarucci A. & De Dominicis V. (1998) - *A new site with sphagna in Tuscany in the Belagaio forest*. Webbia, 53(1): 171-179.

Braun Blanquet J. (1932) - *Plant Sociology*. Mc Graw-Hill Book Cop., New York & London.

Brullo S. & Minissale P. (1998) - *Considerazioni sintassonomiche sulla classe Isoeto-Nanojuncetea*. Itinera Geobotanica, 11: 263-290.

Chiarucci A., Mariotti M.G. & De Dominicis V. (1993) - *Ricerche geobotaniche in Val di Merse (Toscana meridionale)*. 4. *Contributo alla conoscenza della Flora della Val di Farma*. Webbia, 47 (2): 277-311.

Conti F., Manzi A. & Pedrotti F. (1997) - *Liste rosse regionali delle piante d'Italia*. WWF. S.B.I., Camerino.

Conti F., Abbate G., Alessandrini A. & Blasi C. (2005) - *An annotated checklist of the Italian vascular flora*. Palombi Ed., Roma.

Da Vela M., Frignani F., Bonari G. & Angiolini C. (2013) - *La flora vascolare della Riserva Naturale "La Pietra" (Toscana meridionale)*. *Micologia e Vegetazione Mediterranea*, 28 (2): 135-160.

De Dominicis V. (1969) - *Stazioni di Taxus baccata L. nella Valle del Farma (Grosseto)*. *Giornale Botanico Italiano*, 103 (6): 607-608.

De Dominicis V. & Casini S. (1977) - *Carta della vegetazione della Val di Farma*. Litografia Artistica Cartografica. Firenze.

De Dominicis V. & Casini S. (1979) - *Memoria illustrativa per la carta della vegetazione della Val di Farma (Colline Metallifere)*. *Atti della Società toscana Scienze naturali, Mem., Ser. B*, 86: 1-36.

De Dominicis V., Regni E., Persiano T. & Mariotti M. (1986) - *Ricerche geobotaniche in Val di Merse (Toscana meridionale)*. 3. *Contributo alla conoscenza della vegetazione di Pian di Feccia e Pian Ferrale*. *Atti della Società toscana Scienze naturali, Mem., Serie B*, 93: 157-183.

Foggi B. & Grigioni A. (1999) - *Contributo alla conoscenza*

*za della vegetazione dell'isola di Capraia (Arcipelago Toscano)*. *Parlatorea*, 3: 5-33.

Fraser-Jenkins C.R. (2007) - *The species and subspecies in the Dryopteris affinis group*. *Fern Gazette*, 18(1): 1-26.

Gafta D. & Pedrotti F. (1995) - *Tipificazione di due nuove associazioni forestali ripariali per la Penisola Italiana*. *Documents Phytosociologiques*, 15: 413-415.

Landi M. (2006) - *Dryopteris carthusiana (Vill.) H.P. Fuchs*. In: Marchetti D. (ed.), *Notule Pteridologiche Italiane V (127)*, *Annali del Museo civico Rovereto Sez.: Arch., St., Sc. nat.*, 21: 252.

Landi M., Angiolini C. & De Dominicis V. (2002a) - *Florula del tratto medio-basso del fiume Merse (Toscana Meridionale)*. *Micologia e Vegetazione Mediterranea*, 17(2): 175-192.

Landi M., Angiolini C. & De Dominicis V. (2002b) - *Analisi fitosociologica dei fiumi della Toscana Meridionale: il tratto medio-basso del Merse (Italia Centrale)*. *Studia Botanica*, 21: 37-88.

Landi M. & Angiolini C. (2006) - *L'area umida del Mulino di Tifo: un biotopo di notevole interesse botanico in Val di Farma (Siena, Toscana meridionale)*. *Informatore Botanico Italiano*, 38(2): 465-480.

Landi M. & Angiolini C. (2007) - *Contributo alla conoscenza della distribuzione di Osmunda regalis L. in Toscana*. *Informatore Botanico Italiano*, 39 (1): 113-122.

Landi M. & Angiolini C. (2008) - *Habitat characteristics and vegetation context of Osmunda regalis L. at the southern edge of its distribution in Europe*. *Botanica Helvetica*, 118: 43-55.

Landi M., Frignani F., Bonini I., Casini F., Saveri C., De Dominicis V. & Angiolini C. (2009) - *Flora and vegetation in the catchment area of the stream La Bolza in the Merse valley (Siena, southern Tuscany)*. *Webbia* 64 (2): 187-212.

Landi M. & Angiolini C. (2010) - *Osmundo-Alnion forests in Tuscany (Italy) and phytogeographical analysis in a west-European perspective*. *Plant Biosystems*, 143 (1): 93-110.

Mariotti M., Persiano T., Regni E. & De Dominicis V. (1986) - *Ricerche geobotaniche in Val di Merse (Toscana meridionale)*. 1. *Contributo alla conoscenza della Flora di Pian di Feccia e Pian Ferrale*. *Webbia* 39 (2): 233-258.

Mondino G.P. & Bernetti G. (1998) - *I tipi forestali. Boschi e macchie di Toscana*. Regione Toscana, Giunta Regionale. Firenze.

Morrocchi D., Chiarucci A. & De Dominicis V. (1997) - *An interesting new finding of Betula pendula Roth in Tuscany*. *Atti Società toscana Scienze naturali, Mem., Ser. B*. 104: 35-41.

Pedrotti F. & Gafta D. (1996) - *Ecologia delle foreste ripariali e paludose dell'Italia*. *L'uomo e l'ambiente* 23. Camerino.

Selvi F. (1998) - *Flora vascolare del Monte Leoni (Toscana Meridionale)*. *Webbia* 52 (2): 265-306.

Servizio Geologico d'Italia (1968) - *Carta Geologica d'Italia 1:1000000, Foglio 120, Siena*. II° edizione.

# Residui bellici affondati in mare: studio di una contaminazione dimenticata

Camilla Della Torre<sup>1</sup>, Ilaria Corsi<sup>1</sup>, Angelo Tursi<sup>2</sup>, Ezio Amato<sup>3</sup>, Silvano Focardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e Ambientali, via Laterina 8, 53100 Siena

<sup>2</sup> Università di Bari, Dipartimento di Zoologia, Campus via E. Orabona 4/a, 70125 Bari

<sup>3</sup> Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma

## Introduzione

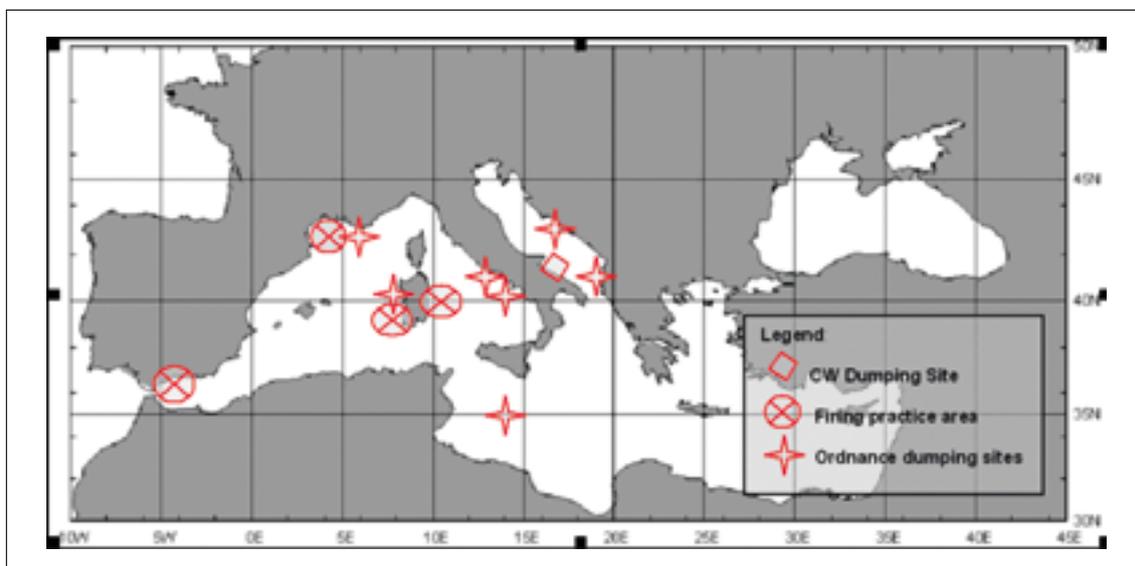
Per molto tempo si è confidato nelle capacità auto-depurative del mare, per cui esso è stato ritenuto “naturalmente” vocato a ricevere qualsiasi sorta di rifiuto prodotto dalle attività antropiche. Ciò ha fatto sì che su ampi tratti dei fondali marini giacciono ingenti quantità di materiali di diversa origine che spesso costituiscono fonti di contaminazione per gli ecosistemi residenti. Al fine di evitare questa minaccia si è resa necessaria una regolamentazione a livello internazionale, attuata nel 1972 tramite la Convenzione di Londra (*London Dumping Convention*) e nel 1976, per il Mediterraneo in particolare, attraverso quella di Barcellona. Con queste convenzioni i paesi contraenti si sono impegnati a regolare la materia e ad adottare tutte le misure possibili per prevenire l'inquinamento derivante da pratiche di affondamento effettuate da navi, aeromobili, piattaforme o altro, nonché dall'affondamento di queste stesse strutture.

Per quanto riguarda i residui bellici, gli eventi che hanno portato all'affondamento in mare di ordigni risalgono al primo conflitto mondiale. A partire da quegli anni e fino alla seconda guerra mondiale, molti paesi iniziarono a produrre enormi quantità di armi; al termine del secondo conflitto gli stessi paesi dovettero cominciare ad affrontare problemi come la carenza di spazio nei depositi di munizioni e lo smaltimento delle enormi scorte di armi inutilizzate o provenienti dalla bonifica delle aree soggette a bombardamenti. L'affondamento in mare, quindi, fu considerato la migliore soluzione disponibile per

lo smaltimento di tali residui bellici (Mitretek Systems, 2004).

Si calcola che dalla fine della seconda guerra mondiale al 1970 siano state portate a termine almeno cento operazioni di affondamento di armi chimiche in diverse aree del mondo e che le quantità di questi ordigni siano circa tre volte quelle presenti negli arsenali chimici degli Stati Uniti e della Russia prima dell'entrata in vigore (1997) della Convenzione di Parigi sul disarmo chimico (Hogendoorn, 1997).

L'affondamento ha interessato principalmente il Mar Baltico, il Mare del Nord, il Mar del Giappone, le acque costiere dell'oceano Atlantico antistanti gli Stati Uniti e l'Irlanda, oltre ad aree del Mediterraneo (Amato & Alcaro, 1999) (fig. 1). Per quanto concerne le acque italiane, a partire dal 1947 il tratto di mare antistante i porti di Bari e Molfetta è stato teatro di numerose operazioni di smaltimento di materiale bellico proveniente dagli arsenali tedeschi dismessi nel territorio e dalle operazioni di bonifica dei porti pugliesi, intensamente bombardati durante il secondo conflitto mondiale (fig. 2a-b). I rapporti sulle operazioni contenuti negli archivi militari sono tuttavia incompleti e i dati riguardanti le quantità di ordigni smaltiti probabilmente sottostimati. Un ulteriore problema (comune a tutte le nazioni) è costituito dal fatto che le operazioni di scarico spesso non vennero effettuate nelle cosiddette “aree limitate”, ma in diverse zone vicino alla costa, in modo da limitare i tempi e i costi di smaltimento; ciò ha contribuito ad aumentare l'attuale incertezza sia sulla tipologia degli ordigni sia sulla distribuzione



1. Mappa dei principali siti di affondamento mondiali nel Mediterraneo. (Fonte Relazione Progetto RED COD ISPRA)



2. Operazioni di smaltimento nel porto di Bari (a-b) salpamento accidentale di un ordigno (c). (Fonte Relazione Progetto RED COD ISPRA)

delle aree di affondamento. La dispersione delle munizioni in mare è stata inoltre incrementata nel tempo dalle attività di pesca.

Per anni la presenza dei residui bellici in mare è stata dimenticata dalla comunità scientifica. Le loro discariche, una volta considerate incredibilmente remote, grazie ai progressi delle scienze oceanografiche stanno tuttavia diventando sempre più accessibili e pericolose per esploratori e lavoratori del mare. Negli ultimi decenni, ad esempio, i pescatori sono stati vittime di numerosi incidenti dovuti al recupero accidentale di armi nelle loro reti a strascico (Assennato *et al.*, 1996) (fig. 2c).

A tutt'oggi le conoscenze relative ai contaminanti rilasciati dagli ordigni rimangono limitate; in particolare, le loro proprietà fisico-chimiche e i loro effetti a lungo termine in acque profonde non sono

stati definiti in modo adeguato. Le informazioni disponibili, in ogni caso, confermano l'elevata persistenza di tali composti. Il tasso medio di corrosione delle bombe varia da 0,05 a 0,1 mm/anno, sebbene tenda a diminuire nel tempo probabilmente a causa dello sviluppo di uno strato ossidativo che ne protegge la superficie esterna (NATO, 1995). Pertanto, considerando un'arma con un involucro sottile di 3 mm (come rilevato nel Basso Adriatico da Amato *et al.*, 2006), il rilascio del suo contenuto sarebbe cominciato trent'anni dopo lo scarico e l'intero contenuto disperso al raggiungimento del 50% del processo di corrosione.

A seguito della corrosione marina, i residui bellici rilasciano nel tempo composti tossici persistenti che possono avere un impatto negativo sugli ecosistemi bentonici (Sanderson *et al.*, 2008).

Nelle aree di affondamento, infatti, gli organismi rimangono esposti a una miscela complessa di composti pericolosi. Questi possono provocare effetti additivi sui quali è difficile intervenire in quanto l'esatta composizione dei singoli ordigni è spesso sconosciuta (Beddington & Kinloch, 2005). La comunità scientifica ha perciò evidenziato la necessità di incrementare gli studi su questo argomento, focalizzandoli soprattutto sullo sviluppo di tecniche sensibili per la determinazione dei contaminanti, sull'individuazione dei bersagli biologici di tossicità degli agenti chimici contenuti nei residuati e sull'applicazione di monitoraggi ambientali sito-specifici (Sanderson *et al.*, 2010).

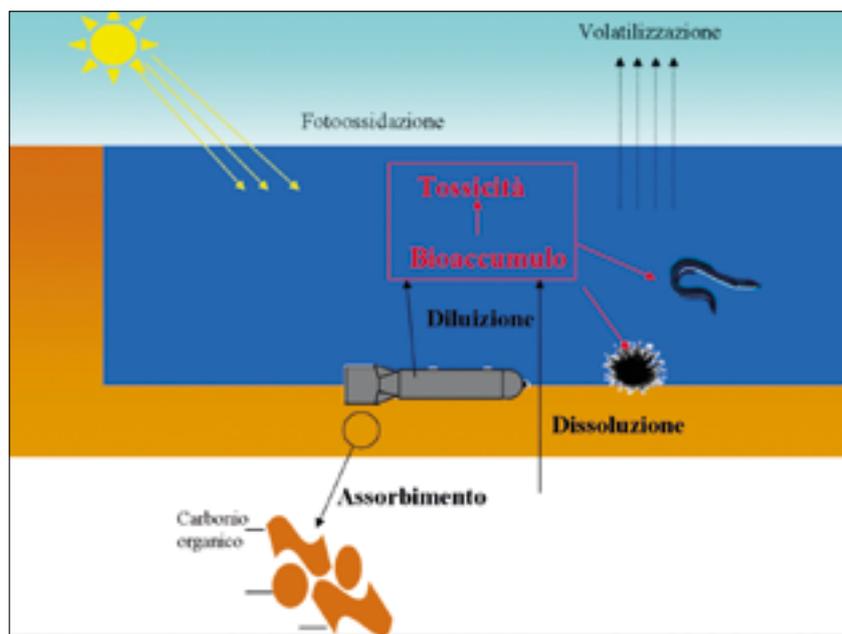
Dal 1999 un gruppo di ricerca multidisciplinare, che vede coinvolti l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), il Dipartimento di Scienze Fisiche della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena, l'Università di Bari e il Centro Tecnico Logistico Interforze Militare di Civitavecchia, è attivamente coinvolto in studi ecotossicologici rivolti alla valutazione del rischio per gli ecosistemi bentonici da parte dei residuati bellici. La ricerca ha previsto lo svolgimento di esperimenti di esposizione *in vivo* a bis-(2-cloroetil)solfuro (iprite) (il principale aggressivo chimico presente nei residuati a carica chimica) e a

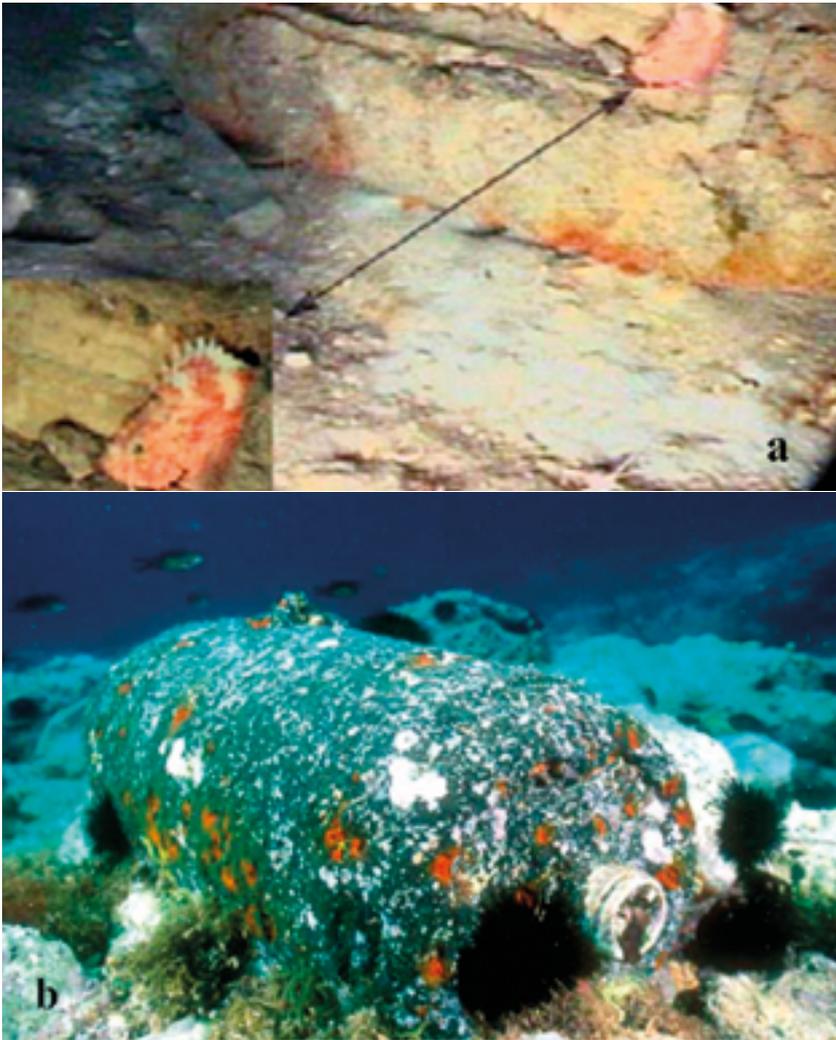
2,4,6-trinitrotoluene (TNT) (il principale esplosivo contenuto nei residuati a carica convenzionale). Tali studi sono stati svolti per individuare i meccanismi e i bersagli di tossicità dei due composti per le specie ittiche. Inoltre sono stati svolti monitoraggi in aree di affondamento di residuati bellici per valutare gli effetti dei contaminanti da essi rilasciati sugli organismi nel loro habitat naturale. Nell'ambiente marino, infatti, l'effettiva rilevanza di ciò che si è osservato *in vivo* dipende strettamente da elementi quali biodisponibilità dei composti in studio, biotrasformazione e concentrazioni ambientali degli stessi (fig. 3).

### Effetti tossici dell'iprite sui pesci

In mancanza di informazioni sulla tossicità da iprite per il biota marino, Della Torre *et al.* (2013) hanno eseguito uno studio su esemplari di *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) sottoposti a esposizione *in vivo*. Dopo aver effettuato sia la somministrazione di concentrazioni crescenti di iprite (0,015, 0,15 e 1,5 mg/kg) attraverso iniezione sottocutanea che il sacrificio degli esemplari nelle 24 e 48 ore seguenti, gli autori hanno valutato gli effetti all'esposizione attraverso analisi

3. Schema del destino ambientale dei contaminanti rilasciati dai residuati.





4. Ordigno a carica chimica affondato nel Basso Adriatico (a) e a carica convenzionale sui fondali dell'Isola di Pianosa, arcipelago delle Isole Tremiti. Le immagini mostrano come le specie marine bentoniche siano a diretto contatto e perciò estremamente vulnerabili al rilascio di sostanze nocive dagli ordigno. (Foto Ezio Amato)

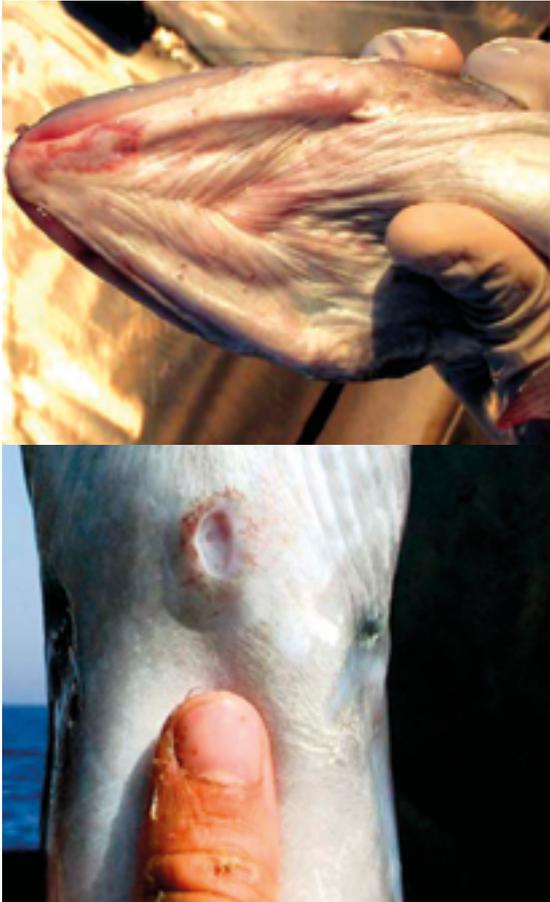
di vario tipo (genotossicologiche, di alterazione degli enzimi di detossificazione e istopatologiche). L'aumento significativo delle attività detossificanti ha suggerito come l'iprite possa essere metabolizzata dagli organismi. Essendo il principale organo detossificante, il fegato costituisce un evidente bersaglio di tossicità. L'esposizione acuta delle anguille alle dosi massime di iprite ha determinato diverse affezioni, tra cui iperpigmentazione della pelle, dermatiti, steatiti e miositi con infiltrazione di macrofagi e neutrofili, processi degenerativi e necrosi. In proposito merita rilevare che alterazioni analoghe sono state osservate in precedenza anche in modelli riguardanti l'uomo e altri mammiferi (Reid *et al.*, 2000; Paromov *et al.*, 2007; Tewari-Singh *et al.*,

2009; Ghanei *et al.*, 2010; Benson *et al.*, 2011; Joseph *et al.*, 2011).

I risultati ottenuti dallo studio suggeriscono che un'esposizione prolungata a iprite sia suscettibile di determinare effetti cancerogeni e compromissione degli organi, rappresentando quindi una potenziale minaccia per le popolazioni di pesci viventi in aree di affondamento.

#### **Monitoraggio ambientale dell'area di affondamento di ordigni a carica chimica nel basso Adriatico**

Il sito, considerato nell'articolo per l'ingente quantità di residuati risalenti al periodo immedia-



5. Lesione cutanea submandibolare e ulcera ventrale osservate in esemplari di *Conger conger* campionati nell'area di affondamento di residuati bellici a carica chimica. (Foto Tommaso Petochi, ISPRA)

tamente postbellico (fig. 4) e per la presenza di ordigni a carica chimica, è costituito da un'area marina di dieci miglia quadrate posta a una profondità di circa 300 m e a una distanza di 35 miglia dal porto di Molfetta (a nord). Tale sito rappresenta un *hot spot* unico per poter valutare lo stato di salute delle specie ittiche esposte a iprite e ad altri aggressivi chimici. Da una prima prospezione dei fondali vi sono stati individuati, infatti, 102 ordigni, alcuni dei quali riconosciuti come bombe di artiglieria caricate a iprite. L'osservazione dei residuati con il *Remotely Operated Vehicle* ha permesso di evidenziare iprite solida tra le fratture e i fori degli ordigni; nei sedimenti sono state inoltre rilevate tracce di prodotti di degradazione dell'iprite (1,4-tioxano, 1,4-ditiano) ed elevati livelli di arsenico (nel range 14.07 - 44.81 mg/kg peso secco) (Amato *et al.*, 2006).

Nell'area di affondamento sono stati prelevati esemplari appartenenti alle specie ittiche bentoniche *Conger conger* (Linnaeus, 1758) e *Helycolenus dactylopterus* (Delaroche, 1809) per metterli a confronto con altri provenienti da un sito scelto per controllo (Della Torre *et al.*, 2010). Nei tessuti dei pesci campionati non è stato possibile rilevare alcuna traccia di iprite o prodotti di degradazione. Ciò è probabilmente dovuto all'estrema reattività del contaminante, che presenta una bassa persistenza nei tessuti animali (Sanderson *et al.*, 2008). Tuttavia i parametri biologici indagati hanno sottolineato una condizione di stress e un alterato stato di salute a carico della fauna ittica residente. Negli esemplari sono stati osservati sia anomalie macroscopiche cutanee (profonde ulcere e noduli) (fig. 5) e lesioni tissutali epatiche (fibrosi periportale e del dotto biliare, steatosi e granulomi) che un aumento dei centri melano macrofagici nella milza. Essi presentavano ancora alterazioni degli enzimi detossificanti e insorgenza di genotossicità nel tessuto branchiale. In entrambe le specie sono stati infine rilevati livelli di arsenico e mercurio (due metalli ampiamente presenti nei residuati) da tre a quattro volte superiori rispetto a quanto riscontrato nelle aree scelte per controllo e significativamente maggiori rispetto ai livelli misurati nel Mediterraneo.

L'approccio ecotossicologico integrato, applicato *in situ*, si è dimostrato quindi efficace nel sottolineare le conseguenze del rilascio di sostanze tossiche dagli ordigni per le popolazioni bentoniche residenti in aree di affondamento. Nonostante che una relazione causa-effetto tra le alterazioni osservate e uno specifico contaminante non possa essere stabilita con chiarezza, i risultati indicati nell'articolo suggeriscono come i pesci siano soggetti a un'esposizione cronica a iprite e aggressivi chimici organoarsenici, rendendo perciò necessaria un'estesa attività di monitoraggio di queste aree.

### Effetti tossici del TNT sui pesci

Per ventiquattr'ore esemplari di *A. anguilla* sono stati esposti *in vivo* a concentrazioni cre-



6. Ordigni a carica convenzionale osservati nell'Isola di Pianosa. (Foto Ezio Amato ISPRA)

scenti di TNT (0,5-1-2,5 mg/L) dissolto in acqua (Della Torre *et al.*, 2008 a, b). Le concentrazioni di TNT sono state scelte su base bibliografica (Talmage *et al.*, 1999); questa mette in evidenza effetti subletali-letali nei pesci esposti a concentrazioni di *range* compreso tra 0,8 e 3,7 mg/L, corrispondenti a quelle rilevate nei siti contaminati (ATSDR, 1995). Gli esemplari sono poi stati sacrificati dopo sei e ventiquattro ore, tempi decisi tenendo conto della rapida degradazione del TNT – sei ore dopo l'esposizione – in specie ittiche.

Gli effetti del TNT sono stati determinati valutando le alterazioni sia degli enzimi di detossificazione e dei geni-chiave coinvolti nel processo di neurosteroidogenesi, sia di quelle a livello istologico del tessuto branchiale. Una sensibile alterazione del sistema di detossificazione è stata riscontrata dopo le prime sei ore, risultando ancora più evidente dopo ventiquattr'ore. Il composto ha prodotto anche un palese stress ossidativo, come già riportato in specie ittiche di acqua dolce (Ek *et al.*, 2005). Per quanto riguarda le proteine dineurosteroidogenesi, si è osservata una modulazione transitoria dei geni indagati, correlata a una variazione del contenuto di cortisolo nel muscolo. L'analisi istologica delle branchie ha inoltre indicato lesioni strutturali da

induzione di TNT, analoghe a quelle già descritte per altri inquinanti organici, quali il sollevamento epiteliale e la dilatazione dei capillari lamellari, interpretabili come lesioni irritanti provocate da basse dosi di sostanze inquinanti, nonché l'iperplasia e la fusione lamellare correlate con elevate concentrazioni di contaminanti; queste ultime sono vere e proprie alterazioni strutturali suscettibili di portare a modificazioni a lungo termine della funzione fisiologica dell'organo (Sensini *et al.*, 2008).

Nel complesso è stato evidenziato che il TNT incide sulle attività metaboliche/detossificanti dell'organismo e che l'effetto può determinare una maggiore esposizione di quest'ultimo ad altre sostanze tossiche (come diossine e idrocarburi) e l'alterazione di processi fisiologici mediati dal sistema. È stata rilevata inoltre la capacità del TNT di compromettere i processi di sintesi di ormoni steroidei: la modulazione delle proteine neurosteroidogeniche osservata è sicuramente predittiva di potenziali effetti negativi sulle funzioni fisiologiche e riproduttive. È stato infine osservato che il TNT è responsabile di varie anomalie nella struttura branchiale, le quali potrebbero ripercuotersi negativamente sui meccanismi di osmoregolazione, di equilibrio acido-base e di respirazione, alterando così significativamente la salute dei pesci.

## **Monitoraggio ambientale dell'area di affondamento di ordigni a carica convenzionale nell'arcipelago delle Isole Tremiti**

Il sito scelto per indagare gli effetti del TNT è l'Isola Pianosa, zona "A" di riserva integrale dell'Area Naturale Marina Protetta Isole Tremiti; tale sito è caratterizzato dalla presenza di numerosi residui bellici a carica convenzionale, risalenti principalmente alla fine del secondo conflitto mondiale (fig. 6). Come sito di controllo è stato invece selezionato un tratto di costa presso la vicina Isola di Caprara. Come specie bioindicatrici rappresentative del comparto bentonico sono state utilizzate *C. conger* e il riccio di mare *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816), entrambe ampiamente distribuite e facilmente reperibili in tutta l'area. Nelle due specie sono stati misurati i tenori di TNT e dei suoi prodotti di degradazione. Per quanto riguarda il grongo, sono state analizzate le principali attività detossificanti e i *markers* di neurotossicità. Gli esemplari del sito di Pianosa non hanno mostrato significative alterazioni né nell'attività degli enzimi detossificanti, né in quella colinesterasica cerebrale. Tale risultato, insieme all'assenza di TNT nei tessuti degli organismi, suggerisce l'assenza di esposizione a una contaminazione in grado di determinare effetti biologici significativi. Relativamente al riccio di mare, sono state indagate l'espressione di proteine da stress e la variazione del contenuto delle subpopolazioni cellulari nel liquido celomatico (Pinsino *et al.*, 2008). Il livello medio della suddetta espressione è risultato più alto rispetto a quello verificato nei campioni del sito di controllo; quanto al liquido celomatico, in esso è stato osservato un aumento significativo della quantità di cellule rosse rispetto agli individui di Caprara, indicativa di una condizione di stress per gli organismi residenti nell'area di affondamento.

L'assenza di livelli rilevabili di TNT nei ricci di Pianosa non permette di definire una relazione di causa-effetto tra le anomalie e la presenza dei residui bellici sui fondali dell'isola. I dati ottenuti nell'ambito di questo monitoraggio ecotossicologico hanno tuttavia permesso di evidenziare

l'attivarsi di un meccanismo cellulare di risposta a stress. Le alterazioni nei celomociti possono essere interpretate come segnali precoci di una condizione di stress, la quale potrebbe compromettere le normali funzioni fisiologiche e immunitarie degli organismi residenti nell'area di affondamento.

## **Conclusioni**

Quelli di questo studio rappresentano i primi dati a livello mondiale sugli effetti nocivi dei contaminanti rilasciati da residui bellici (sia a carica chimica che convenzionale) affondati in mare nei confronti degli ecosistemi bentonici. L'approccio ecotossicologico usato si è rivelato estremamente efficace nell'evidenziare effetti tossici subletali da iprite e TNT, in condizioni di esposizione sia in laboratorio sia in natura. La diffusione nell'ecosistema marino dei composti chimici contenuti nei suddetti materiali costituisce un fattore di rischio per i popolamenti marini. Infatti, i contaminanti rilasciati dagli ordigni sono in grado di interferire nell'organizzazione biologica degli organismi a diversi livelli: da quello molecolare fino a quello delle alterazioni macroscopiche. Sebbene questo tipo di contaminazione sia limitato ad aree marine circoscritte, l'estrema reattività e tossicità dei contaminanti, così come l'elevato numero di residui localizzati in questi *hot spot* di contaminazione, non solo giustificano l'interesse per l'argomento da parte della comunità scientifica (Brewer & Nakayama, 2008), ma fanno avvertire la necessità di incrementare i monitoraggi e sviluppare un approccio integrato che consideri diversi parametri biologici in più specie dell'ecosistema marino significative per questo tipo di impatto. La stessa metodologia è attualmente utilizzata nell'ambito di monitoraggi delle zone di affondamento nel Mar Baltico (Barsiene *et al.*, in stampa); grazie a questi nuovi studi sarà possibile stabilire un confronto tra aree marine che presentano fattori chimico-fisici diversi (temperatura, profondità, tipologia di fondale eccetera) e la tossicità dei contaminanti rilasciati dai residui che potrebbe interferire con il destino ambientale.

## Ringraziamenti

Lo studio è stato svolto nell'ambito dei progetti Armi Chimiche Affondate e Benthos (ACABI e ACABII) finanziati dal Ministero dell'Ambiente e ISPRA (ex ICRAM) e dal progetto *Research on Environmental Damages Caused by Ordnances Dumped at Sea* finanziato dall'Unione Europea. Gli autori ringraziano il dottor Tommasi Petochi per aver svolto in modo eccellente le analisi istologiche. Un sentito ringraziamento ai militari del Centro Chimico Biologico Nucleare Interforze di Civitavecchia per aver svolto le analisi chimiche e l'aiuto offerto in fase di svolgimento degli esperimenti di esposizione *in vivo*.

## Testi citati

Amato E. & Alcaro L. (1999) - *Report: Armi chimiche affondate e benthos Residuati bellici caricati con aggressivi chimici affondati in Basso Adriatico: distribuzione, stato di conservazione e conseguenze per gli ecosistemi marini*. Ministero dell'Ambiente Italiano.

Amato E., Alcaro L., Corsi I., Della Torre C., Farchi C., Focardi S., Marino G. & Tursi A. (2006) - An integrated ecotoxicological approach to assess the effects of pollutants released by unexploded chemical ordnance dumped in the southern Adriatic (Mediterranean Sea). *Marine Biology*, 49: 17-23.

Assennato G., Ambrosi F. & Sivo D. (1996) - Possibili effetti a lungo termine sull'apparato respiratorio della esposizione ad iprite tra pescatori. *La Medicina del Lavoro*, 88 (2).

ATSDR (1995) - *Toxicological profile for 2,4,6-trinitrotoluene*. Public Health Service, US Department of Health and Human Services, Washington DC.

Barsiené J., Butrimavi ien L., Grygiel W., Lang T., Michailovas A. & Jack nas T. (2014) - Environmental genotoxicity and cytotoxicity in flounder (*Platichthys flesus*), herring (*Clupea harengus*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) from chemical munitions dumping zones in the southern Baltic Sea. *Marine Environmental Research*, 96: 56-67.

Beddington J. & Kinloch A.J. (2005) - *Munitions dumped at sea: a literature review*. IC Consultants Ltd. 90 pp.

Benson J.M., Seagrave J.C., Weber W.M., Santistevan C.D., Grotendorst G.R., Schultz G.S. & March T.H. (2011) - Time course of lesion development in the hairless guinea-pig model of sulfur mustard-induced dermal injury. *Wound Repair and Regeneration*, 19: 348-357.

Brewer P.G. & Nakayama N. (2008) - What lies beneath: a plea for complete information. *Environmental Science and Technology*, 42: 1394-1399.

Della Torre C., Petochi T., Farchi C., Corsi I., Dinardo M.M., Sammarini V., Alcaro L., Mechelli L., Focardi S., Tursi A., Marino G., Amato E. (2013) - Environmental hazard of yperite released at sea: sublethal toxic effects on fish. *Journal of Hazardous Materials*, 248-249: 246-253.

Della Torre C., Petochi T., Corsi I., Dinardo M.M., Baroni D., Alcaro L., Focardi S., Tursi A., Marino G., Frigeri A. & Amato E. (2010) - DNA damage, severe organ lesions and high muscle levels of As and Hg in two benthic fish species from a chemical warfare agent dumping site in the Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, 408: 2136-2145.

Della Torre C., Corsi I., Arukwe A., Valoti M. & Focardi S. (2008a) - Interactions of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) with xeno-

biotic biotransformation system in European eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(3): 798-805.

Della Torre C., Corsi I., Focardi S. & Arukwe A. (2008b) - Effects of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) on neurosteroidogenesis in the European eel (*Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758). *Chemistry and Ecology*, 24 (S1): 1-7.

Ek H., Dave G., Sturve J., Almroth B.C., Stephensen E., Förlin L. & Birgersson G. (2005) - Tentative biomarkers for 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) in fish (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*, 72: 221-230.

Ghanei M., Poursaleh Z., Harandi A.A., Emadi S.E. & Emadi S.N. (2010) - Acute and chronic effects of sulfur mustard on the skin: a comprehensive review. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, 29: 269-277.

Hogendoorn E.J. (1997) - A chemical weapons atlas. *Bulletin of Atomic Science*, 53 (5).

Joseph L.B., Gerecke D.R., Heck D.E., Black A.T., Sinko P.J., Cervelli J.A., Casillas R.P., Babin M.C., Laskin D.L. & Laskin J.D. (2011) - Structural changes in the skin of hairless mice following exposure to sulfur mustard correlate with inflammation and DNA damage. *Experimental and Molecular Pathology*, 91: 515-527.

Mitretek Systems (2004) - *Ocean dumping of chemical weapons*. [www.mitretek.org/home.nsf/homelandsecurity/OceanDumpChemWeap/2004](http://www.mitretek.org/home.nsf/homelandsecurity/OceanDumpChemWeap/2004)

NATO/CCMS/NACC (1995) - *Cross-border environmental problems emanating from Defence-related installation and activities. Summary final report phase-I 1993-1995*. Report n° 206.

Paromov V., Suntres Z., Smith M. & Stone W.L. (2007) - Sulfur mustard toxicity following dermal exposure role of oxidative stress, and antioxidant therapy. *Journal of Burns and Wounds*, 7: 1-7.

Pinsino A., Della Torre C., Sammarini V., Bonaventura R., Amato E. & Matranga V. (2008) - Sea urchin coelomocytes as a novel cellular biosensor of environmental stress: a field study in the Tremiti Island Marine Protected Area, Southern Adriatic Sea, Italy. *Cell Biology and Toxicology*, 24: 541-552.

Reid F.M., Graham J., Niemuth N.A., Singer A.W., Janny S.J. & Johnson J.B. (2000) - Sulfur mustard-induced skin burns in weanling swine evaluated clinically and histopathologically. *Journal of Applied Toxicology*, 20: S153-S160.

Sanderson H., Fauser P., Thomsen M., Vanninen P., Soderstrom M., Savin Y., Khalikov I., Hirvonen A., Niiranen S., Missiaen T., Gress A., Borodin P., Medvedeva N., Polyak Y., Paka V., Zhurbas V. & Feller P. (2010) - Environmental hazards of sea-dumped chemical weapons. *Environmental Science and Technology*, 44: 4389-4394.

Sanderson H., Thomsen M., Fauser P. & Sørensen P.B. (2008) - Screening level environmental risk assessment of chemical warfare agents in the Baltic Sea. *Journal of Hazardous Materials*, 154: 846-857.

Sensini C., Della Torre C., Corsi I. & Focardi S. (2008) - Acute effects of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) on gills of the European eel *A. anguilla* (Linnaeus, 1758). *Cell Biology and Toxicology*, 24: 621-628.

Talmage S.S., Opresko D.M., Maxwell C.J., Welsh C.J.E., Cretella F.M., Reno P.H. & Daniel F.B. (1999) - Nitroaromatic munition compounds: environmental effects and screening values. *Review of Environmental Contamination and Toxicology*, 161: 1-156.

Tewari-Singh N., Rana S., Gu M., Pal A., Orlicky D.J., White C.W. & Agarwal R. (2009) - Inflammatory biomarkers of sulfur-mustard analog 2-chloroethyl ethyl sulfide-induced skin injury in SKH-1 hairless mice. *Toxicological Sciences*, 108: 194-206.

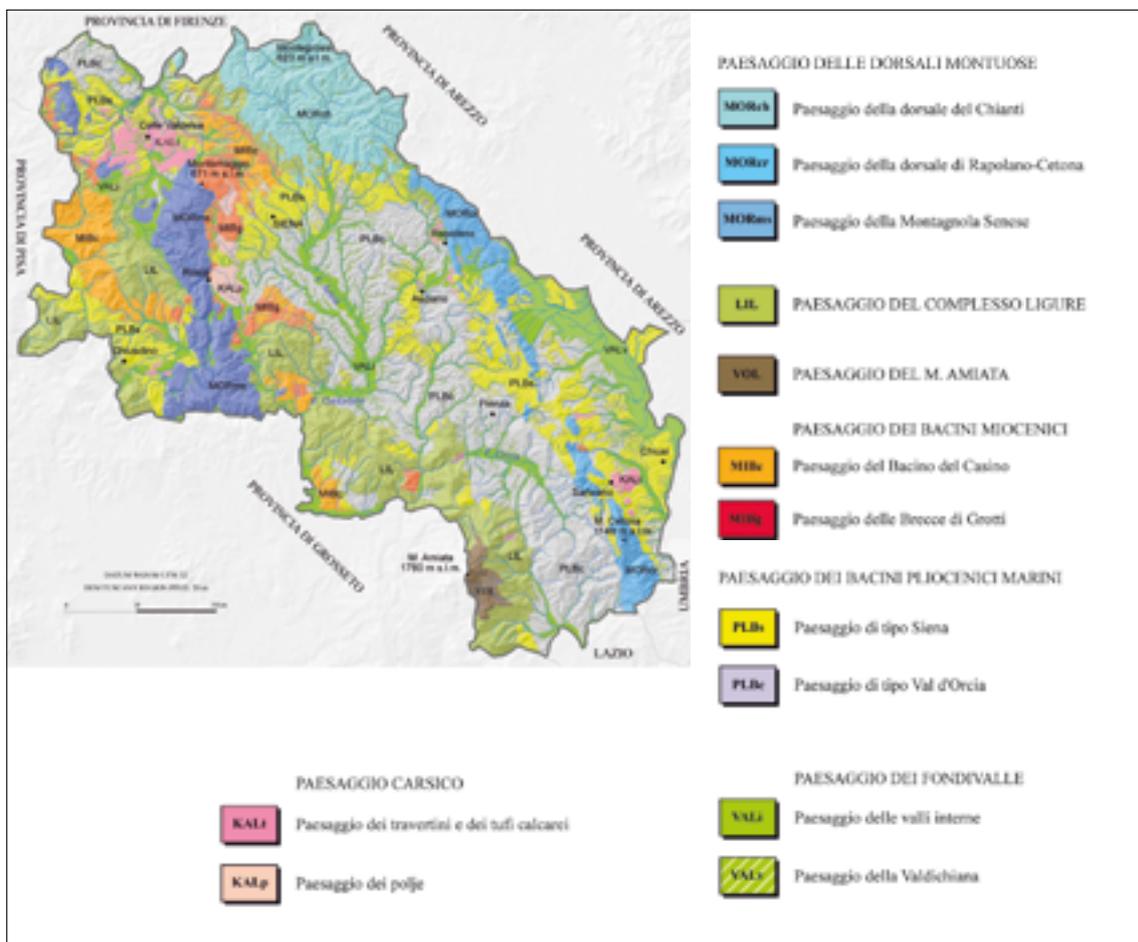
# Geomorfologia e Unità di Paesaggio nella Provincia di Siena

Mauro Coltorti, Dario Firuzabadi, Pierluigi Pieruccini

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Laterina, 8 – 53100 Siena

Per Unità di Paesaggio si intendono settori di un territorio relativamente omogenei dal punto di vista geologico (vi affiorano rocce specifiche: calcari, marne, argille, alternanze di marne e argille eccetera), geomorfologico (mostrano forme peculiari: tratti pianeggianti, debolmente inclinati, molto in-

clinati, tratti inclinati alternati ad altri con debole pendenza eccetera) e idrologico (presentano corsi d'acqua con analoghe caratteristiche). Il loro riconoscimento e il tracciamento dei loro confini consentono di distinguere immediatamente le zone "più stabili" da quelle interessate da dinamiche



1. Carta delle Unità di Paesaggio della Provincia di Siena.

che inducono pericolosità geologica (probabilità che eventi calamitosi vadano ad agire su edifici, strutture di ogni tipologia e vie di comunicazione). Dalle caratteristiche geologiche di un'area e da come vi sono state realizzate le diverse opere dipende inoltre la vulnerabilità rispetto ad agenti modellatori del paesaggio quali frane, esondazioni, fratture legate alla tettonica eccetera. Perfino i suoli e il loro sviluppo sono fortemente influenzati dal substrato geologico e dall'assetto geomorfologico, per cui le Unità di Paesaggio riescono a fornire informazioni su quanto è possibile aspettarsi in campo pedologico e quindi economico. Si tratta, in definitiva, di strumenti utili e necessari per ogni analisi volta a valutare sia i punti "più deboli" che quelli più significativi di un territorio e, dunque, costituiscono una base indispensabile per scelte di pianificazione territoriale indirizzate verso una gestione sostenibile degli spazi. Da rilevare è che nonostante siano numerosi i progetti di cartografia geomorfologica realizzati sul territorio italiano negli ultimi decenni, relativamente poche sono le carte che raccolgono una grande quantità di informazioni (rappresentanti Unità di Paesaggio); ciò è dovuto in parte alla diffusa complessità del territorio stesso e in parte al fatto che una rappresentazione di maggiore dettaglio (scale 1:10.000 o 1:5.000), quale ad esempio quella richiesta per le carte di pericolosità, prevede costi di realizzazione più elevati rispetto a un'altra condotta a piccola scala (da 1: 50.000 a 1:1.000.000).

### **Cenni geologici, geomorfologici e idrologici**

La Provincia di Siena, che ha un'estensione di 3821 km<sup>2</sup>, ospita circa 270.000 abitanti per cui ha una densità di poco superiore alle settanta persone per km<sup>2</sup>. Circa un quinto della popolazione vive nella città di Siena, situata nella porzione nord della provincia; la parte rimanente è distribuita prevalentemente in città di dimensioni minori rispetto al capoluogo e in paesi. Il clima, fortemente influenzato dall'orografia, è di tipo sub-umido; aree con clima per-umido si ri-

trovano solo nelle vicinanze dei principali rilievi. Le precipitazioni variano ogni anno da 700 mm a 1300 mm sul M. Amiata (un apparato vulcanico che costituisce il margine sud-occidentale della provincia e raggiunge la quota di 1780 m s.l.m.). La temperatura media è di circa 14°C, con valori minimi a gennaio e massimi a luglio. Il corso d'acqua principale della porzione sud-orientale della provincia è il fiume Ombrone, che scorre verso ovest accogliendo i suoi principali tributari Arbia e Orcia; il Fiume Elsa e una rete di canali drenanti la Val di Chiana verso il fiume Arno caratterizzano, invece, rispettivamente il settore settentrionale e quello orientale.

La caratterizzazione geologica del territorio, basata sui risultati dell'attività di ricerca che ha condotto alla recente pubblicazione della carta geomorfologica di scala 1:500.000 (fig. 1), è riportata qui di seguito in forma semplificata. Più in particolare, la successione sedimentaria è suddivisa nelle seguenti unità litologiche (cioè rocce con caratteristiche meccaniche comparabili indipendentemente dal periodo della loro deposizione; figg. 2-3):

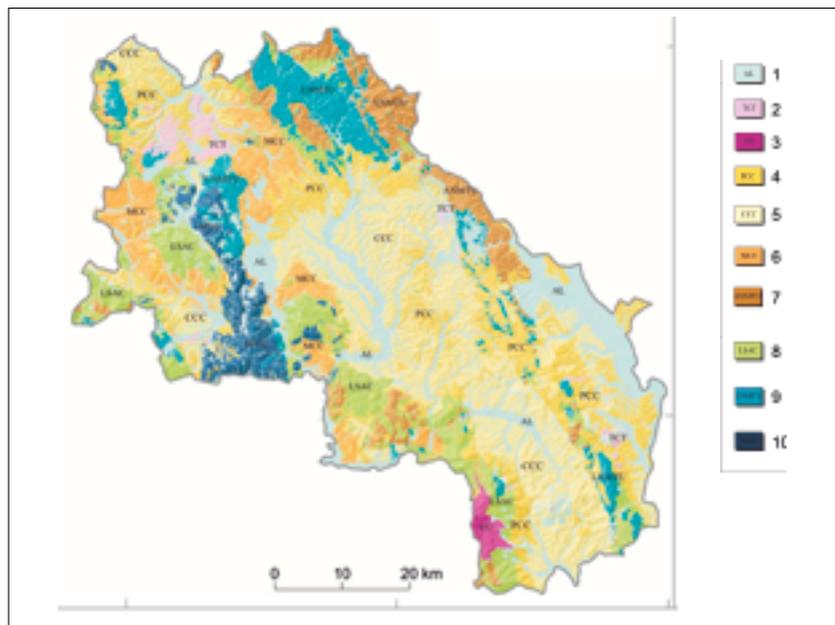
- rocce metamorfiche (facies degli scisti verdi, Paleozoico-Mesozoico, MR) costituite da scisti, metareniti, metaconglomerati, metadolomiti e marmi del Basamento Paleozoico (PB) e da unità mesozoiche (MTU) della serie toscana;

- rocce non metamorfiche della Serie Toscana (sovrascorse tettonicamente sull'unità MR) rappresentate da calcari, calcari micritici e calcari marnosi (LNMTU), nonché da sabbie, arenarie e peliti (ANMTU);

- depositi alloctoni (cioè trasportati tettonicamente nella loro posizione attuale) del Complesso Ligure e Subligure (Cretaceo-Eocene, LSAC) consistenti in argille, marne, calcari e sabbie; localmente essi includono basalti e ofioliti, spesso caratterizzati da assetti caotici per frane sottomarine. Il limite inferiore dell'unità è indicato da faglie dirette a basso angolo e/o sovrascorrimenti;

- depositi costieri e continentali del Miocene (MCC) formati da litotipi quali breccie calcaree, conglomerati, sabbie e argille, sovrapposti in discordanza angolare (cioè con contatto erosivo)

2. Carta litologica della Provincia di Siena. 1: AL, Depositi alluvionali; 2: TCT, Travertini e Tufi Calcarei; 3: VU, Vulcanico; 4: PCC, Sabbie e conglomerati marini e costieri pliocenici; 5: CCC, Argille marine plioceniche; 6: MCC, Depositi costieri e continentali miocenici; 7: ANMTU, rocce Unità Toscane Arenacee non Metamorfiche; 8, LSAC, Complesso alloctono marino Ligure e Subligure; 9: LNMTU, Unità Toscane Non Metamorfiche; 10: MTU - Unità Toscane Metamorfiche.



alle formazioni più antiche (la loro base, all'interno dei bacini sedimentari, ha acquisito nel tempo la forma di un cucchiaio allungato a seguito di movimenti tettonici);

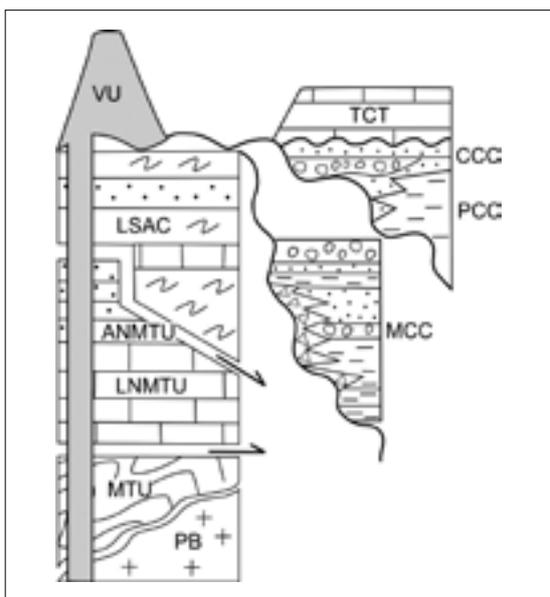
- argille marine del Pliocene inferiore-medio (CCC) poggianti per contatto erosivo sulle rocce più antiche;
- sabbie marine e conglomerati del Pliocene in-

feriore-medio (PCC) poggianti per contatto erosivo sulle rocce più antiche;

- vulcaniti (risalenti a 180-300.000 anni fa, Ferrari *et al.*, 1996, VU) costituite da rocce laviche dacitiche e riodacitiche del M. Amiata;
- travertini e tufi calcarei del Pleistocene Medio-Superiore (TCT), i primi depositi da acque calde termali e dunque costituiti da calcite quasi pura mentre i secondi depositi da acque a temperatura ambiente e dunque incrostanti vegetazione sia algale che erbaceo-arbustiva o depositi in piccole pozze o lungo torrenti.

- depositi alluvionali, detritici e colluviali del Pleistocene Medio-Olocene (AL) rappresentate da ghiaie, sabbie e argille.

Il paesaggio provinciale è caratterizzato dalla Dorsale Toscana Esterna (a est) e dalla Dorsale Toscana Interna (a ovest), entrambe orientate circa NNO-SSE (fig.1). La prima consta di due settori: quello del Chianti (che raggiunge la quota di 823 m s.l.m. a Montegrossi) a nord, dove dominano le litologie ANMTU e LNMTU (per la descrizione del significato di queste sigle si rimanda alla fig. 2), quello di Rapolano-Cetona (la cima più alta è quella del M. Cetona che tocca i 1148 m s.l.m.) a sud, dove prevalgono le unità LSAC e LNMTU. Nella porzione cen-



3. Schema delle relazioni stratigrafiche tra le varie unità lito-strutturali del substrato riportate in figura 2, a cui si rimanda per le sigle della legenda.

tro-meridionale della dorsale occidentale affiorano principalmente i depositi LSAC, mentre in quella settentrionale (nella Montagnola Senese il Montemaggio si eleva fino a 671 m s.l.m.) si rinvenivano rocce dell'unità MR. Alla sommità delle due dorsali affiorano depositi marini PCC, preservatisi sino ad una quota di circa 750 m s.l.m. (Passerini, 1964; Liotta & Salvatorini, 1994; Boscato *et al.*, 2008), che permettono di valutare il massimo sollevamento tettonico avvenuto a partire dal Pliocene medio. Tra le due dorsali si individuano tre bacini caratterizzati da quote modeste: il Bacino di Siena-Radicofani nella parte centro-meridionale, quello del Casino nella parte settentrionale, quello della Valdelsa nella parte nord occidentale. Il primo di questi bacini presenta un paesaggio collinare modellato a spese delle argille (CCC) a sud, delle sabbie e dei conglomerati (PCC) rispettivamente a nord e a sud-est. Unità litostratigraficamente e cronologicamente confrontabili affiorano all'interno del bacino della Val d'Elsa e di quello di Chiusdino (Bossio *et al.*, 1992; Riforgiato *et al.*, 2005; fig.1), incluso nella Dorsale Toscana Interna. Sedimenti argillosi (CCC) e sabbioso-conglomeratici (PCC) si ritrovano, inoltre, nel bacino della Val di Chiana, che separa la Dorsale Toscana Esterna dai rilievi dell'Appennino tosco-emiliano.

I movimenti tettonici deformativi, attivi durante la sedimentazione, hanno permesso la formazione di bacini al cui interno si sono conservati i depositi più recenti del Pliocene Inferiore (Coltorti & Pieruccini, 1997; Coltorti *et al.*, 2007; Brogi, 2011). Questi bacini sono per brevi tratti delimitati da faglie normali; ciò è ben evidente a ovest del M. Cetona (Liotta & Salvatorini, 1994). I terreni pliocenici si sono localmente conservati anche alla sommità delle dorsali. I movimenti deformativi sono cessati nel Pliocene medio, allorché i bacini e le dorsali hanno subito spianamento (Coltorti & Pieruccini, 1997; Coltorti *et al.*, 2007). In seguito, con un'accelerazione verso la fine del Pleistocene Inferiore (circa 800.000 anni fa), tutto il territorio provinciale è stato interessato da sollevamento (Coltorti & Pieruccini, 2002) per cui è andato a realizzarsi un approfondimento del reticolo di drenaggio.

L'incisione dei corsi d'acqua è stata più intensa in corrispondenza dei terreni maggiormente erodibili (in genere quelli presenti nei bacini mio-pliocenici) il cui fondo è posto a quote più basse delle dorsali. Nei terreni argillosi i reticoli sono distribuiti senza apparente regolarità; nelle dorsali, dove i corsi d'acqua seguono le antiche faglie e fratture, i loro *patterns* sono invece lineari e angolari. Il rilievo del M. Amiata presenta un reticolo radiale.

Non sono state riscontrate evidenze di attività tettonica quaternaria a eccezione dei movimenti verticali che sono tuttora in atto, sebbene con tassi modesti rispetto a quelli registrati nelle aree più sollevate dell'Appennino. A tale caratteristica va associata la bassa sismicità della provincia.

La deposizione dei travertini (legata a sorgenti idrotermali attuali o del passato) e dei tufi calcarei (legata alle comuni sorgenti) è da mettere in relazione principalmente con la rapida precipitazione di carbonato di calcio, da parte di acque ricche di carbonati, in presenza di variazioni di temperatura (per questo motivo un ruolo importante è stato svolto dalle oscillazioni climatiche quaternarie; si vedano Goudie *et al.*, 1993 e Cilla *et al.*, 1996). Spesso la deposizione è coadiuvata dall'attività di alghe, muschi e licheni; avviene, inoltre, solo quando le acque sono limpide e dunque con i versanti coperti di vegetazione.

Nei fondi vallivi, la ciclica alternanza di periodi di deposizione (quando quantità elevate di detriti giungevano dai versanti privi di vegetazione) e di incisione (quando i detriti erano mantenuti sui versanti dalla vegetazione) ha permesso la conservazione a quote progressive di depositi alluvionali di forma piana (per questo sono denominati terrazzi). I fondi vallivi pianeggianti sono sede di depositi alluvionali recenti, talora per chilometri di estensione (ad esempio in Val di Chiana).

## Metodologia

La carta geomorfologica e delle Unità di Paesaggio della Provincia di Siena, alla scala 1:500.000 (fig.1), è scaricabile gratuitamente alla

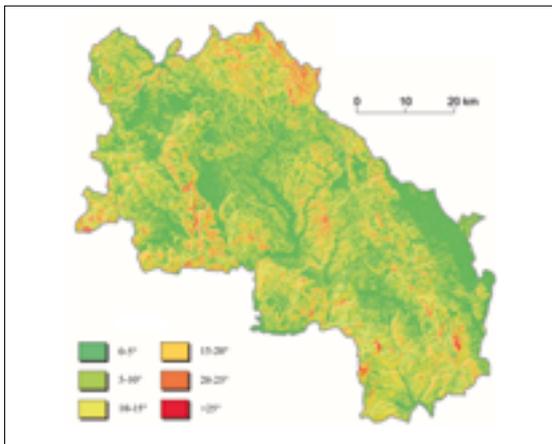
scala 1:200.000 dal sito della Rivista Journal of Maps ([www.journalofmaps.com/crossrefMap.php?mid=1193](http://www.journalofmaps.com/crossrefMap.php?mid=1193)). Essa rappresenta una sintesi di numerosi rilievi di campagna (scala 1:25.000) ed elaborati di fotogeologia finalizzati a un progetto di cartografia geomorfologica finanziato dalla stessa provincia. La legenda della carta riportata in fig. 1 è stata semplificata rispetto a quella originaria per renderla più leggibile. Gli elementi puntuali, lineari e poligonali, che indicano morfologie e depositi, sono stati classificati in base al processo geomorfologico che li ha prodotti (tra i processi geomorfici, quelli che maggiormente hanno avuto influenza sul territorio riguardano l'azione selettiva delle acque superficiali, il fenomeno gravitativo produttore sistemi franosi, il carsismo, il vulcanismo e le attività antropiche). Nella provincia sono rappresentate anche altre morfologie, le quali sono comunemente definite relitte e poligeniche perché modellate in un remoto passato e conservate in settori non più o poco interessati da dinamiche erosive. Le carte di campagna sono state digitalizzate tramite il software ESRI ArcGIS, realizzando un database che rispecchia la classificazione utilizzata per la legenda. Molto spesso in natura esistono transizioni graduali da un'area, dominata da una serie di processi, a un'altra, dove ne dominano altri. L'individuazione dei limiti dei vari settori, un processo che può comportare un margine di soggettività, è stata eseguita principalmente sulla base dell'esperienza degli scriventi. Infatti, la dimensione della provincia, la complessità e la variabilità del territorio in termini di geologia, rilievo, drenaggio, processi superficiali e uso del suolo rendono estremamente difficoltoso ottenere una classificazione automatica del paesaggio (Mackaness *et al.*, 2007; Smirnoff *et al.*, 2008). Numerose analisi statistiche sono state eseguite sulle carte geomorfologiche originali (in scala 1:25.000), tenendo presenti le relazioni tra forme, processi geomorfici, litologia e uso del suolo. La realizzazione della carta ha richiesto anche la semplificazione di poligoni, l'eliminazione di forme di piccole dimensioni (avrebbero reso poco leggibile le caratteristiche salienti) e l'ag-

gregazione di gruppi di elementi, un processo questo che ha richiesto un alto grado di decisione soggettiva.

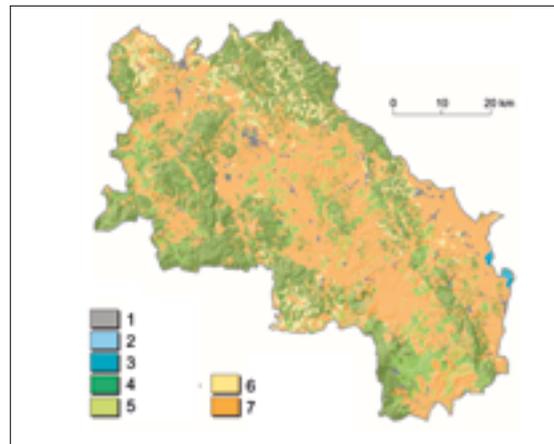
La carta delle Unità di Paesaggio (fig. 1) è accompagnata da mappe sintetiche (in scala circa 1:500.000) che documentano le caratteristiche più salienti e i principali processi che agiscono sul territorio senese. In particolare gli allegati riguardano: 1) la carta litologica, che è stata ricavata da quella geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000 (fig. 2); 2) la carta delle pendenze, che è risultata da un modello digitale del terreno (DTM) realizzato tramite elaborazione al computer e derivato da carte topografiche in scala 1:10.000 (fig. 4); 3) la carta dell'uso del suolo, che è stata ottenuta dal progetto CORINE Land Cover (European Commission, 1994; fig. 5); 4) la carta dei movimenti franosi, che è stata elaborata suddividendo gli stessi in colate, frane rotazionali e Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV) (fig. 6); 5) la carta dei processi erosivi dovuti allo scorrimento di acque superficiali e all'interazione con movimenti gravitativi, la quale include forme (fig. 7) quali fossi, calanchi (tipicamente delimitati da piccoli crinali a margini vivi) e biancane (caratterizzate da morfologie cupoliformi); 6) la carta delle forme legate all'erosione selettiva che origina scarpate (sulla testata degli strati) e superfici strutturali (alla sommità degli strati più resistenti), al vulcanismo e ai principali lineamenti morfotettonici (cioè faglie e fratture) (fig. 8). Le mappe hanno dimensione ridotta per motivi tipografici; servono, dunque, essenzialmente per visualizzare la distribuzione delle proprietà (litologia, pendenze, uso del suolo, forme strutturali) e la concentrazione relativa dei singoli processi.

### **Caratteri geomorfologici delle Unità di Paesaggio**

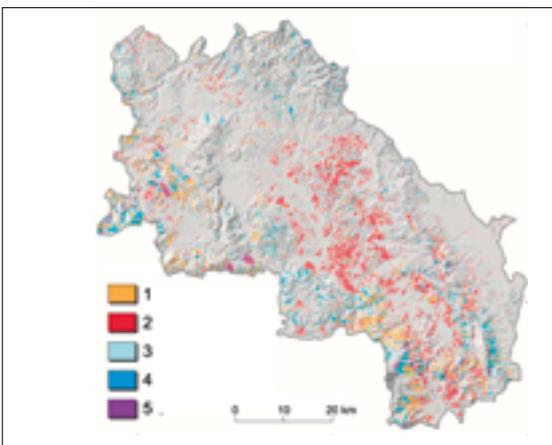
Nella Provincia di Siena sono state riconosciute sette Unità di Paesaggio. Per ognuna riportiamo qui di seguito le caratteristiche geomorfologiche principali e le eventuali suddivisioni.



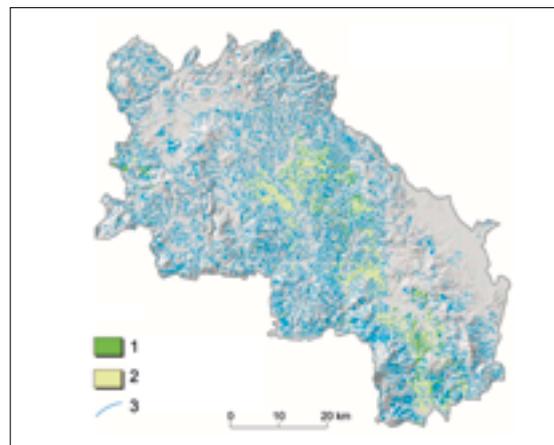
4. Carta delle acclività della Provincia di Siena.



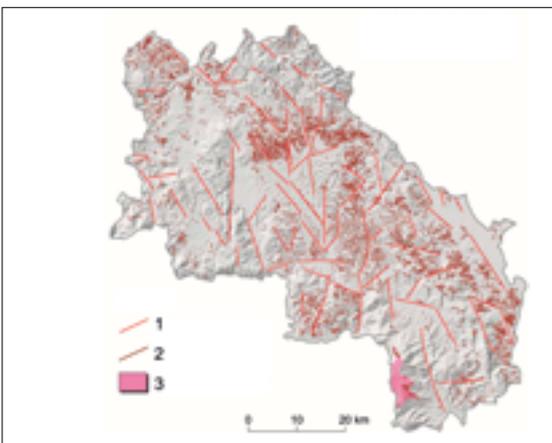
5. Carta dell'uso del suolo della Provincia di Siena: 1, aree urbane; 2, laghi; 3, stagni; 4, boschi; 5, prati; 6, olivi e viti; 7, agricolo.



6. Carta dei fenomeni franosi: 1, colate quiescenti; 2, colate attive; 3, scivolamenti quiescenti; 4, scivolamenti attivi; 5, movimenti gravitativi profondi di versante (DSGM).



7. Carta dei fenomeni erosivi legati alle acque correnti superficiali: 1, calanchi e biancane attive; 2, calanchi e biancane inattive; 3, fossi di erosione concentrata.



8. Carta degli elementi lito-strutturali: 1, lineamenti (faglie e fratture); 2, scarpate di erosione selettiva su terreni pianeggianti e/o inclinati; 3, centro vulcanico.

## 1) PAESAGGIO DELLE DORSALI MONTUOSE (MOR)

L'unità, che mostra morfologie con versanti acclivi e forestati, può essere localmente interessata da frane di grandi dimensioni e da Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV). Durante il Pliocene la sommità delle dorsali è stata spianata dall'erosione marina, anche se talvolta le superfici di spianamento sono state cancellate. Sulla base dei principali litotipi che vi affiorano, questa unità è stata suddivisa nelle seguenti sottunità:

- PAESAGGIO DELLA DORSALE DEL CHIANTI (MORCH) (fig. 9). Questa sottunità, caratterizzata da arenarie (in spessi banchi) cui si alternano localmente argille, marne e calcari marnosi, presenta profonde valli spesso con una sezione a V e versanti mediamente acclivi. Tali valli mostrano settori più ampi laddove le rocce sono facilmente erodibili (varici), mentre sono più strette quando attraversano le arenarie. Quando l'alternanza litologica è più evidente si assiste alla formazione di ripiani (in corrispondenza di depositi a componente pelitica) e di scarpate (in corrispondenza dei banchi arenaci). Le frane, in genere grandi scivolamenti, si sviluppano soprattutto sui versanti a franapoggio, cioè inclinati verso la valle. Lungo i versanti della Val d'Arno sono segnalati movimenti franosi di dimensione plurichilometrica (DGPV). Alla sommità dei versanti sono osservabili tratti spianati, più o meno estesi, ereditati dal modellamento marino plio-pleistocenico;

- PAESAGGIO DELLA DORSALE DI RAPOLANO-CETONA (MORCR) (fig. 10). Nella sottunità prevalgono le rocce calcaree per cui vi sono diffusi i fenomeni carsici. Questi ultimi hanno permesso la migliore conservazione delle antiche tracce di spianamento e la formazione di doline e polje (depressioni chiuse dove l'acqua si infiltra nel sottosuolo). Le valli sono profonde e con versanti ripidi sino alla creazione di vere e proprie forre. A conferma dell'origine marina dello spianamento, la sommità della dorsale conserva estesi lembi di antiche spiagge plioceniche (rappresentate da sabbie, arenarie e persino conglomerati contenenti fossili marini);

- PAESAGGIO DELLA DORSALE DELLA MONTAGNOLA SENESE (MORMS) (fig. 11). La sottunità è modellata su rocce metamorfiche tra le più antiche della Toscana. Queste rocce, spesso di origine calcarea (come il famoso "marmo giallo di Siena"), offrono un paesaggio molto simile a quello visto per la precedente sottunità. Anche alla sommità di questa dorsale sono localmente conservati ridotti lembi di depositi marini pliocenici. Sui fianchi delle valli (ad esempio quella di Rosia) si rinvengono terrazzi alluvionali posti anche a quote elevate sul fondovalle, i quali documentano il progressivo approfondimento dei corsi d'acqua.

## 2) PAESAGGIO DEL COMPLESSO LIGURE (LIL)

Nella Dorsale Toscana Interna (dai confini della provincia sino alle pendici del Monte Amiata; fig. 12) questa unità è estesamente rappresentata, mentre in quella esterna lo è scarsamente e solo nel settore settentrionale. Data la forte deformazione che hanno subito queste rocce e le frequenti alternanze di sedimenti argillosi e marnosi, il substrato presenta scarsa resistenza ai processi di degradazione. Il ruscellamento concentrato e diffuso, unitamente ai processi gravitativi, ha condotto al modellamento di lunghi versanti con pendenze anche modeste. I versanti più acclivi si rinvengono sui terreni calcarei e su quelli vulcanici; laddove sono diffuse le frane di scivolamento e colamento si formano versanti ondulati. Al contatto con i terreni vulcanici del Monte Amiata sono segnalate frane di grandi dimensioni, con incluse deformazioni gravitative profonde che coinvolgono elevati spessori di roccia. La superficie di spianamento allo sommità delle dorsali è raramente conservata; più frequentemente si osservano cime poste alla medesima quota che testimoniano comunque l'antico spianamento. Sui versanti più acclivi, talora anche ubicati sulle scarpate dei fenomeni franosi, dominano i boschi; su quelli poco acclivi, talora anche sui depositi di frana, dominano invece i terreni coltivati.

## 3) PAESAGGIO DEI BACINI MIOCENICI (MIB)

Nell'unità prevalgono quelle morfologie colli-



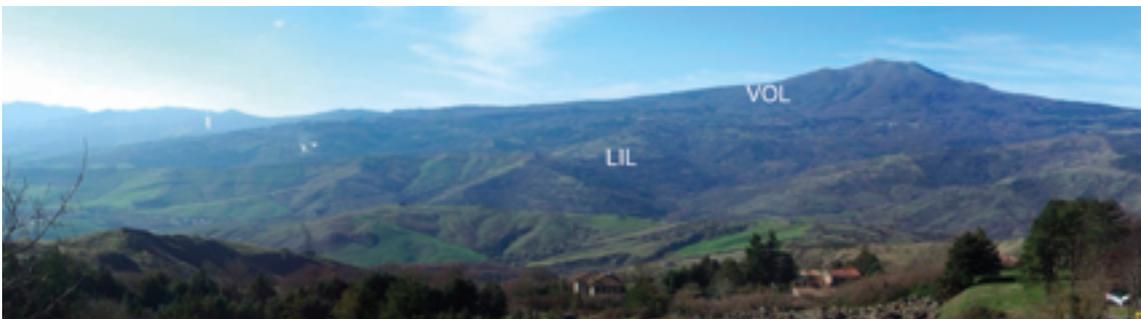
**9.** Paesaggio della Dorsale del Chianti (MORch). La linea a tratteggio indica la superficie di spianamento alla sommità della dorsale. In primo piano il paesaggio tipico delle sabbie plioceniche (PLBs).



**10.** Paesaggio della Dorsale di Rapolano-Cetona (MORcr). La linea a tratteggio indica la superficie di spianamento mentre sul fondo a destra si erge il rilievo del monte Cetona. A sinistra il paesaggio modellato sulle sabbie plioceniche (PLBs).



**11.** Paesaggio della Dorsale della Montagna Senese (MORms) vista da ovest. I versanti della dorsale, modellati su terreni prevalentemente calcarei, sono forestati. In primo piano si estende il paesaggio del Bacino del Casino (MIBc) modellato su depositi argillosi, sabbiosi e conglomeratici miocenici.



**12.** Paesaggio del complesso Ligure (LIL), caratterizzato da versanti ondulati e irregolari. Sullo sfondo il paesaggio vulcanico del monte Amiata (VOL) costituito dai versanti acclivi e forestati del duomo vulcanico e da superfici pianeggianti e debolmente inclinate delle colate laviche.

nari che variano da debolmente ondulate (coltivi) ad acclivi (boschi) in funzione della natura dei depositi (frequenti e spesse alternanze di livelli argillosi e sabbioso-conglomeratici). La scarsa resistenza delle rocce ai processi erosivi ha condotto alla genesi di ampie valli in cui confluiscono una fitta rete di torrenti minori; nella loro parte alta le valli divengono più strette e con profilo a V. Sui litotipi argillosi si sviluppano localmente forme di ruscellamento concentrato come i calanchi. Sugli stessi litotipi sono molto diffusi i fenomeni franosi; in genere si tratta di colate di fango; nel caso in cui i movimenti coinvolgono i soprastanti strati conglomeratici, essi sono invece riconducibili a scivolamenti. L'unità MIB comprende le seguenti sottounità:

- PAESAGGIO DEL BACINO DEL CASINO (MIBC) (fig. 11). Le alternanze di ghiaie, sabbie e argille, che caratterizzano questa sottounità, inducono la formazione di gradini nei versanti. Piuttosto frequenti sono le frane di scivolamento, le quali si attivano proprio al contatto tra i livelli più grossolani e quelli argillosi;

- PAESAGGIO DELLE BRECCIE DI GROTTI (MIBG). Le breccie calcaree, peculiari della sottounità, danno vita a estesi fenomeni carsici che producono ampie depressioni, alcune delle quali chiuse (polje). Parte di queste depressioni, come ad esempio la piana di Rosia e Pian del Lago (rispettivamente ad ovest e nord ovest di Siena), costituiscono este-

se risorgenti di acque immagazzinate negli acquiferi carsici della Montagnola Senese. L'azione erosiva delle acque è stata tale da disseccare alcune delle sponde delle antiche depressioni, le quali costituiscono le testate del Fiume Merse e di alcuni affluenti del Fiume Elsa.

#### 4) PAESAGGIO DEI BACINI PLIOCENICI MARINI (PLB)

La natura dei depositi tipici dell'unità (argille, sabbie e subordinatamente ghiaie e conglomerati) genera versanti poco acclivi (interessati da agricoltura estensiva); localmente, comunque, possono incontrarsi scarpate di acclività media (utilizzati per agricoltura intensiva). La facile erosione dei sedimenti ha condotto alla genesi di ampie valli secondarie a fondo concavo o a fondo piatto. I sedimenti sabbiosi, prodotti dalla degradazione dei versanti, assorbono la pioggia e rallentano la formazione di forme di erosione concentrata e l'approfondimento delle valli. L'unità PLB include le seguenti sottounità:

- PAESAGGIO DI TIPO SIENA (PLBs) (figg. 13-14). La maggiore diffusione dei sedimenti sabbiosi determina nella sottounità versanti acclivi e dissecati da vallecole a fondo concavo; sui fianchi di queste vallecole sono osservabili depositi abbastanza spessi, prodotti dalla degradazione per ruscellamento o per movimenti lenti e pellicolari del suolo;



13. Un tratto del Paesaggio di tipo Siena (PLBs) modellato su depositi marini e costieri pliocenici prevalentemente sabbiosi caratterizzato da superfici strutturali sub-pianeggianti bordate da scarpate acclivi.



14. Il tipico Paesaggio tipo Val d'Orcia (PLBc), caratterizzato da morfologie dolci e ondulate modellate su depositi marini pliocenici prevalentemente argillosi. La sommità del rilievo, in questo caso Pienza, è spesso caratterizzate dalla presenza di superfici sub-pianeggianti con scarpate acclivi tipiche del paesaggio PLBs.



15. Il tipico paesaggio PLBc a calanchi e biancane modellato sui terreni argillosi pliocenici (le Crete Senesi).

- PAESAGGIO DI TIPO VAL D'ORCIA (PLBc) (fig. 14). La sottounità è caratterizzata da morfologie ottenute per erosione idrica concentrata, quali i calanchi (versanti caratterizzati da creste ripide), e da biancane (versanti caratterizzati da forme cupoliformi; fig. 15). I versanti sono ondulati per la diffusa presenza di frane generalmente di colata; frane di maggiori dimensioni e di scivolamento si osservano al passaggio tra PLBs e PLBc.

#### 5) PAESAGGIO DEL M. AMIATA (VOL)

Questa particolare unità si sviluppa in corrispondenza dei versanti più o meno acclivi e forestati del duomo vulcanico omonimo. La morfologia è quella di antiche colate laviche solo moderatamente interessate da processi di degradazione per ruscellamento (fig. 12).

#### 6) PAESAGGIO CARSICO (KAL)

L'unità rappresenta il risultato della presenza di estesi depositi di travertino (fig. 16) e di tufo

calcareo. Essa è facilmente individuabile sia nei pressi dei centri idrotermali attuali (Rapolano, San Casciano, Chianciano) e del passato (Cetona, Sartiano), che in molteplici settori della Val d'Elisa. Ampi tratti pianeggianti e coltivati sostituiscono gli antichi laghi, mentre versanti acclivi e vegetati si rinvengono in corrispondenza delle antiche cascate.

#### 7) PAESAGGIO DEI FONDIVALLE (AL)

Questa ultima unità è caratterizzata dalla presenza di sedimenti depositi all'interno degli alvei o in estesi settori della pianura alluvionale adiacente. Lungo il tracciato dei corsi d'acqua, in prevalenza meandriforme (anche quando questa situazione non è ben definita, si rinvengono i resti di meandri spesso trasformati in piccoli laghi), sono osservabili depositi grossolani nei pressi degli alvei e depositi fini sugli argini e all'esterno di questi. Nella parte alta della pianura alluvionale dominano, in genere, i sedimenti più grossolani. All'unità ap-



16. Un tratto caratteristico del Paesaggio Carsico (KAL) nell'area di Rapolano è costituito dalla presenza di fessure con risalita di acque calde e deposizione di travertini.

partengono inoltre i depositi sub-attuali o pleistocenici dei terrazzi alluvionali, i quali sono posti a quote progressive sui fondi vallivi. Nell'ambito di AL sono state distinte le seguenti sottounità:

- PAESAGGIO DELLE VALLI INTERNE (ALi). La sottounità è ben riconoscibile all'interno del Bacino di Siena-Radicofani, dove risulta modellata sia dai fiumi Elsa, Ombrone e Orcia che dai loro affluenti. Lungo i fiumi citati sono presenti terrazzi

alluvionali (fig. 17) di estensione moderata (a eccezione del medio tratto dell'Ombrone) come quello dove sorge Monteroni D'Arbia e in parte Buonconvento. Vi dominano i coltivi.

- PAESAGGIO DELLA VALDICHIANA (ALv). Si distingue dalla precedente sottounità a causa dell'importante regimazione a cui è stata interessata l'area sin dal Medioevo (l'opera si è conclusa nel XIX secolo). Essa è caratterizzata, quindi, da



17. Il Paesaggio dei fondivalle interni (VALi) caratterizzato dalla presenza di terrazzi alluvionali indicati dalle linee a tratteggio.

corsi d'acqua ad andamento rettilineo e dotati di argini artificiali che salvaguardano la pianura limitrofa rendendola utilizzabile ai fini agricoli.

## Conclusioni

Nel territorio provinciale senese sono state riconosciute sette Unità di Paesaggio modellate sia sulle rocce più antiche delle due dorsali toscane (quella interna e quella esterna) che sui sedimenti conglomeratici, sabbiosi e argillosi dei bacini miocenici e pliocenici. Le caratteristiche delle varie unità sono strettamente legate alla tipologia delle rocce affioranti e alle differenti risposte di queste ai processi erosivi (in particolare modo a quelli connessi con lo scorrimento delle acque superficiali e con la gravità). Tali processi, che sono stati più intensi in corrispondenza delle rocce facilmente erodibili (argille e marne) del Miocene e del Pliocene inferiore, si sono esplicati anche su una superficie di spianamento, ve-

rosimilmente modellata nel Pliocene medio. Un paesaggio del tutto peculiare è dato dal Monte Amiata, un apparato vulcanico discretamente conservato che ha preso origine alla fine del Pleistocene Medio nel settore sud-occidentale della provincia; un'altro paesaggio che merita di essere evidenziato per le sue peculiarità è quello relativo ai fondi vallivi.

Tutte queste unità, che mostrano un'omogeneità di comportamento per quel che riguarda sia i processi erosivi e/o deposizionali che l'uso del suolo, sono state cartografate nell'ambito di un progetto geomorfologico finanziato dalla Provincia di Siena. La carta delle Unità di Paesaggio ottenuta è da considerarsi uno strumento basilare per la gestione del territorio in quanto consente di individuare i settori maggiormente interessati da processi che generano pericolosità (frane, esondazioni, erosioni in alveo e sulle sponde di un corso d'acqua, erosione diffusa e concentrata che induce erosione del suolo eccetera).

## Riferimenti bibliografici

Boscato P., Coltorti M. & Reggiani P. (2008) - Pliocene *Anancus arvernensis* (Croizet & Jobert, 1828) remains from Cetona (Siena): stratigraphy, chronology and paleoenvironment. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 127(1): 151-162.

Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1992) - Il Pliocene del Bacino di Chiusdino. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A*, 98: 193-250.

Brogi A. (2011) - Bowl-shaped basin related to low-angle detachment during continental extension: The case of the controversial Neogene Siena Basin (central Italy, Northern Apennines). *Tectonophysics*, 499(1-4): 54-76.

Cilla M., Coltorti M., Farabollini P., Dramis F., Gentili B. & Pambianchi G. (1996) - Fluvial sedimentation in the Early Holocene in the Marchean Valley (Central Italy). *Il Quaternario*, 9(2): 459-464.

Coltorti M. & Pieruccini P. (1997) - Middle-Upper Pliocene 'Compression' and Middle Pleistocene 'Extension' in the East Tiber Basin: from 'synform' to 'extensional' basins in the Tyrrhenian side of the northern Apennines. *Il Quaternario*, 10(2): 521-528.

Coltorti M. & Pieruccini P. (2002) - The late Lower Pliocene Planation surface and mountain building of the Apennines (Italy). *Studi Geologici Camerti*, Special Volume 'Large-scale vertical movements and related processes', 1: 45-60.

Coltorti M., Ravani S. & Verrazzani F. (2007) - The growth of the Chianti Ridge: progressive unconformities and depositional sequences in the S. Barbara Basin (Upper Valdarno, Italy). *Il Quaternario*, 20, 1-2: 67-84.

Gandin A. (2013) - Classificazione genetica, caratteri petrologici distintivi e valori isotopici correlati di calcari incrostanti depositi da acque scorrenti (Travertini - Calcareous Tufa - Speleotemi). *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 27: 10-30.

Gandin A. & Capezzuoli E. (2014) - Travertine: Distinctive depositional fabrics of carbonates from thermal spring systems. *Sedimentology*, 61: 264-290

European Commission (1994) - *CORINE Land Cover Technical guide*. EUR12585 EN, OPOCE, Luxembourg: 163 pp.

Ferrari L., Conticelli S., Burlamacchi L. & Manetti P. (1996) - Volcanological evolution of the Monte Amiata, Southern Tuscany: new geological and petrochemical data. *Acta Vulcanologica*, 8: 41-56.

Goudie A., Viles H. & Pentecost A. (1993) - The late Holocene tufa decline in Europe. *The Holocene*, 3 (2): 181-186.

Liotta D. & Salvatorini G. F. (1994) - Evoluzione sedimentaria e tettonica della parte centromeridionale del bacino pliocenico di Radicofani. *Studi Geologici Camerti*, Volume Speciale, 1: 65-77.

Mackaness W., Ruas A. & Sarjakoski L. (2007) - *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*. Oxford, Elsevier: 386 pp.

Passerini P. (1964) - Il Monte Cetona. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 83: 219-338.

Riforgiato F., Foresi L., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (2005) - Chronostratigraphic revision of some Pliocene basins in Tuscany at the Zanclean/Piacenzian boundary. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 3: 7-13.

Smirnov A., Paradis S. & Boivin R. (2008) - Generalizing surficial geological maps for scale change: ArcGIS tools vs. cellular automata model. *Computer and Geosciences*, 34 (11): 1550-1568.

# Il punto della situazione



Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

# L'eruzione di Santorini (1627-1600 a.C.) e il suo impatto nella storia del Mediterraneo orientale

Roberto Fondi, Roberto Mazzei

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, via Laterina 8, 53100 Siena;  
roberto.mazzei@unisi.it, ro.fondi@gmail.com

## L'Isola Santorini e l'eruzione minoica

La subduzione della Placca Africana al di sotto della Placca Egea, che è tuttora in corso, ha costretto la formazione dell'Arco Ellenico. Questa struttura tettonica di forma arcuata, che va dalle Isole Ionie all'Isola di Rodi, è costituita da tre elementi distinti: quello più a sud è caratterizzato dal sus-

seguirsi di tre fosse oceaniche (Hellenic Trench, Pliny Trench e Strabo Trench), quello intermedio da isole non-vulcaniche tra cui Creta e quello a nord da isole vulcaniche (il vulcanismo attivo della regione è iniziato tre-quattro milioni di anni fa) tra cui Santorini (le sue prime lave dacitiche sono riconducibili a circa due milioni di anni fa), Methana, Milos e Kos.



1. La caldera di Santorini vista da Thira, la principale città dell'isola.



2. La caldera di Santorini vista da Oia, nella parte settentrionale dell'isola.



3. Santorini e le isole limitrofe.

Santorini, Thíra per i Greci, appartiene alle Cicladi Meridionali ed è ubicata nel Mare Egeo a  $36^{\circ} 25'$  di latitudine nord e a  $25^{\circ} 26'$  di longitudine est. Essa è “impostata” su un basamento costituito principalmente da marmi e scisti facenti parte di un complesso, noto come Massiccio delle Cicladi, piegato e metamorfosato dall'Orogenesi Alpina.

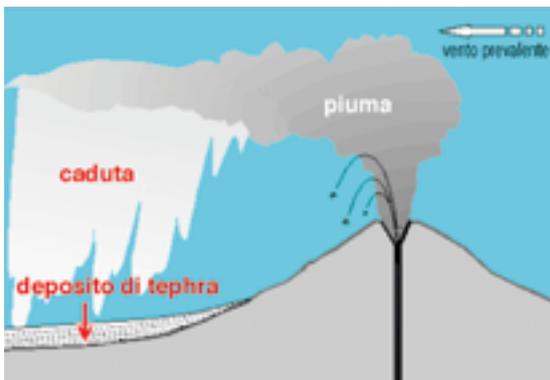
L'isola, anticamente chiamata “la bellissima”, ha un'area di  $90.623 \text{ km}^2$  e mostra un profilo morfologico che raggiunge le sue altezze massime – valutabili intorno ai 300 m – in corrispondenza

della costa delimitante la caldera (che alla profondità di 400-800 m copre un'area di  $83 \text{ km}^2$ ; figg. 1-2); il terreno degrada poi, più o meno rapidamente, verso il perimetro esterno dell'isola (fig. 3), dove si trovano splendide spiagge. Di fronte a Santorini sorgono l'isola di Thirassía e quella più piccola di Aspronisi; all'interno della caldera, larga da 7 a 12 km, l'isola di Nea Kaméni e quella minore di Paléa Kaméni (figg. 1-3).

L'evidenza geologica mostra come Santorini rappresenti il risultato di sequenze vulcaniche (fig. 4) ripetute in un processo ciclico: ciascuna eruzione violenta, infatti, è stata seguita dal collasso della caldera, rozzamente circolare e riempita di acqua marina; la caldera è stata poi lentamente occupata dal magma che ha dato origine alla struttura di un nuovo vulcano. Subito prima dell'eruzione minoica, le pareti della caldera formavano un anello quasi continuo. Con questa eruzione, incentrata a nord dell'attuale Nea Kaméni, la parte settentrionale della caldera venne riempita da cenere e lava vulcanica per cui collassò formando nuove comunicazioni con l'Egeo occidentale, tra Aspronisi e Thirassía e tra quest'ultima e Santorini (figg. 1-3). La ricostruzione “pre-eruzione” dell'isola, insieme al collasso della caldera, hanno suggerito l'idea (Luce, 1969) che Santorini possa essere collegata al mito di Atlantide descritto da Platone; indicazioni in questo senso sarebbero supportate anche da “affreschi del paesaggio” presenti negli scavi archeologici di Akrotiri, un insediamento della parte meridionale dell'isola legato alla civiltà cretese che durante l'eruzione minoica rimase sepolto sotto uno strato di pomice.



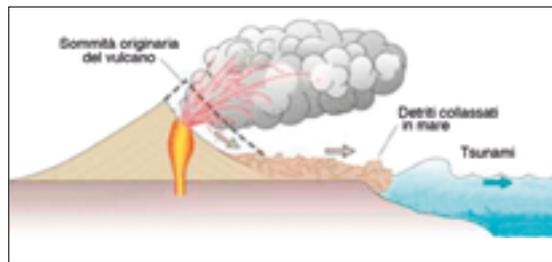
4. I depositi vulcanici sui quali è stata edificata la città di Thíra.



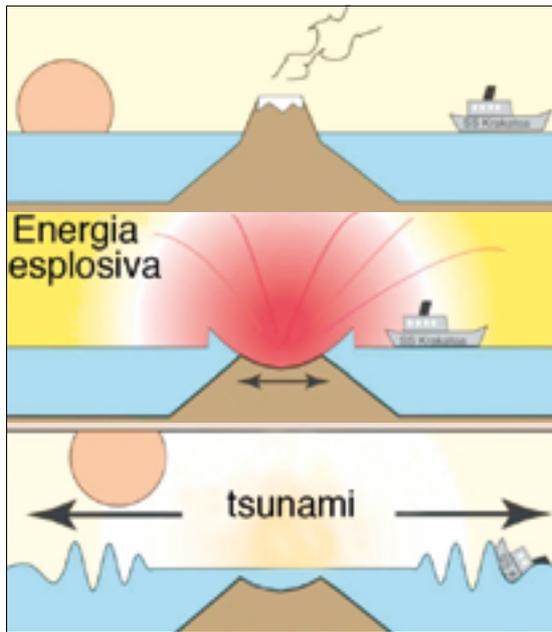
5. Modalità di formazione dei tephra.



6. Sviluppo della "piuma" durante una recente eruzione del vulcano Krakatoa in Indonesia.



7. Schema di formazione di uno tsunami per il collasso di un vulcano.



8. Schema di formazione di uno tsunami per l'esplosione e il collasso di una caldera.

L'evento minoico si è rivelato assai imponente (per esso è stato stimato, su una scala di valori da 1 a 8, un indice di esplosività vulcanica pari a 7), avendo rilasciato più di  $60 \text{ km}^3$  di magma e detriti e prodotto  $100 \text{ km}^3$  di tephra, cioè frammenti di vetro vulcanico (fig. 5). Secondo Watkins *et al.* (1978) il livello di tephra, che nell'isola raggiunge uno spessore massimo di 5,50 m, si è depositato verosimilmente nella prima fase (detta "pliniana") dell'eruzione; esso è stato poi ricoperto da altri livelli rappresentativi dei prodotti della seconda fase (tephra a granulometria fine, con uno spessore massimo di 6,50 m) e della terza (piroclastiti e ignimbriti, con uno spessore massimo di 3 m). Si ritiene altresì che durante la prima fase si sia formata sul vulcano un'estesa "piuma",

suscettibile di aver raggiunto altezze anche fino a 35 km (figg. 5-6).

Nelle figure 7 e 8 sono schematizzati il collasso di un vulcano e l'esplosione di una caldera, i quali consentono di comprendere meglio la possibile origine dello tsunami (dal termine giapponese *soo-nah-mee* che significa "onde del porto"; esso si può generare anche a seguito di terremoti, frane, impatti meteoritici eccetera) formatosi a Santorini per l'evento minoico, con onde verosimilmente alte 40 m e oltre.

La potenza devastante che esprime uno tsunami è veramente impressionante (figg. 9-10). Da rilevare che la velocità ( $v$ ) delle onde anomale si ottiene dall'espressione  $v = \sqrt{g \cdot h}$  in cui  $h$  è la profondità dell'acqua in quel punto e  $g$  è l'acce-



9. In alto: effetti distruttivi del maremoto che nel 1908 si abbatté su Messina. In basso: particolare del lungomare messinese.

lerazione di gravità ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ). In pieno oceano la distanza tra due onde successive può raggiungere decine e decine di chilometri mentre l'altezza delle loro "creste" può limitarsi a un metro

10. Immagine dello tsunami che alla fine del 2004 colpì la costa delle Isole Samoa.

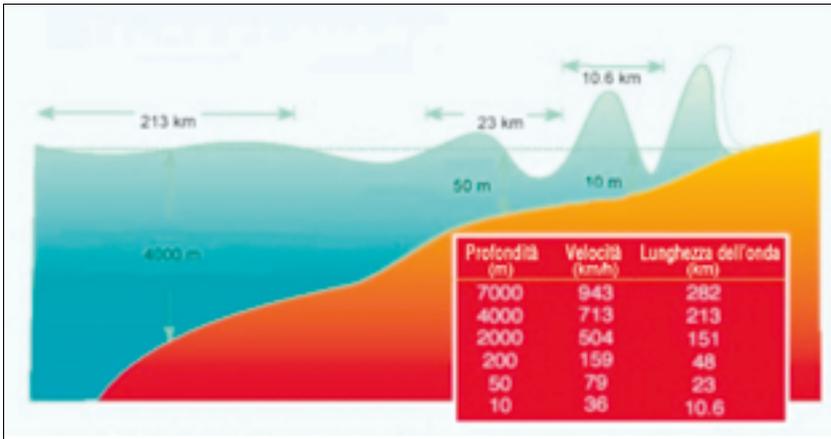


o poco più (a differenza delle onde da vento, la loro azione arriva al fondale marino); in queste condizioni la velocità delle onde può estendersi fino a oltre 700 Km/h. Quando le onde si avvicinano alle coste, la diminuzione di profondità del fondo "frena" la parte inferiore della massa d'acqua rispetto a quella più superficiale, la quale si rovescia in avanti. Come conseguenza della "frenata", le onde diminuiscono la distanza fra loro e tendono ad accavallarsi, crescendo a dismisura (fig. 11).

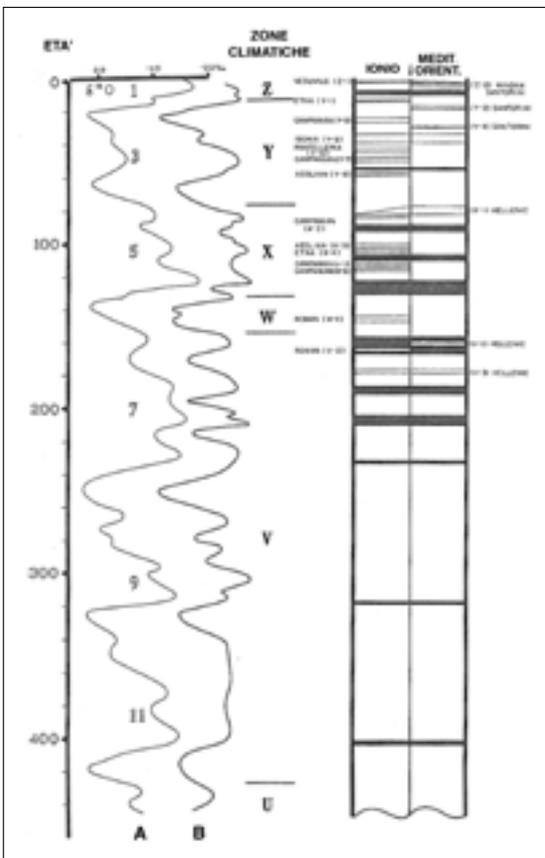
Sfruttare un evento naturale di largo effetto e per di più ben datato (si veda avanti), quale l'eruzione minoica, potrebbe essere molto utile per tentare di ricomporre i "frammenti di Storia" del Mediterraneo orientale che rappresentano le radici culturali di molti popoli, compreso il nostro.

### Inquadramento cronologico dell'eruzione minoica

Nel corso di alcune crociere oceanografiche nel Mare Egeo (a una delle quali ha partecipato anche uno degli scriventi) e nel Mediterraneo orientale, all'interno di depositi di mare profondo attribuibili agli ultimi 200.000 anni sono stati individuati



11. Comportamento di uno tsunami: a mano a mano che la profondità del fondale diminuisce, la velocità dell'onda si riduce mentre la sua altezza aumenta.



12. Distribuzione stratigrafica dei livelli di tephra e di sapropel riconosciuti nel mare Ionio e nel Mediterraneo orientale; correlazione di questi livelli con la curva isotopica (A) e con quella dei foraminiferi (B), nonché con la scala temporale (in migliaia di anni) di Shackleton & Emiliani, 1974 (da Keller *et al.*, 1978).

numerosi livelli di tephra con differente composizione petrogenetica. Secondo la letteratura geologica (si vedano, ad esempio: Thunell *et al.*, 1977; Vergnaud-Grazzini *et al.*, 1977; Keller *et al.*, 1978; Blechschmidt *et al.*, 1981), al di sotto di un primo livello di tephra da attribuirsi all'attività vesuviana

se ne rinvennero altri tre riconducibili a quella di Santorini; solo quello più recente (composto da augite, iperstene, apatite e plagioclasio; tipo petrografico andesitico) di questi livelli riguarda l'eruzione minoica. Facendo riferimento alla curva isotopica e alla scala temporale proposta da Emiliani e Shackleton nel 1974, Keller *et al.* (1978) collocarono il livello minoico all'interno dello stadio isotopico 1 (indicato come zona climatica Z, da cui la sigla Z-2 per il livello), in un tratto della curva del delta 180 che segue in leggera flessione il picco di riscaldamento corrispondente al sapropel S1 (per sapropel – dal greco *sapros*, putrefazione e *pelos*, fango – si intende un sedimento fangoso di mare aperto, di colore scuro e ricco di materiale organico – > 2-3% –, legato a condizioni di anossia al fondo); su questa base tali autori assegnarono allo Z-2, e quindi all'eruzione minoica, un'età di circa 3500 anni BP (fig. 12). Con lo stesso criterio, essi individuarono età di circa 18.000 anni BP per il livello Y-2 (cade nel trend di riscaldamento che segue l'ultimo piccolo freddo del glaciale würmiano) e di circa 30.000 anni BP per il livello Y-4 (cade nel trend di raffreddamento che culmina nel suddetto picco freddo). Keller *et al.* (1978) evidenziarono anche un livello di tephra Z-1 di poco successivo allo Z-2, riconducibile all'attività del Vesuvio.

Con il termine BP (dall'inglese: *Before Present*) aggiunto ai valori numerici, si intende che questi sono convenzionalmente da riportare a prima dell'anno 1950, considerato punto di partenza della scala temporale usata (ad esempio, 3500 anni BP significa 1550 a.C.). Il valore ottenuto, però,

non deve essere considerato corretto se deriva da una datazione non calibrata. Le età ricavate con il radiocarbonio non-calibrato, comunque, possono essere convertite nelle “date del calendario” tramite l’uso di una “curva di calibrazione” (ad esempio, quella fornita dalla dendrocronologia, la quale sfrutta il fatto che durante il processo di fotosintesi gli anelli di accrescimento degli alberi assorbono le diverse concentrazioni di <sup>14</sup>C, dipendenti dall’attività solare, conservandone traccia).

Attraverso l’analisi del <sup>14</sup>C su un livello di materiale organico presente ad Akrotiri (parte meridionale di Santorini), Ramsey *et al.* (2004) hanno ottenuto per l’eruzione minoica un’età di 3350 +/- 10 anni BP. Due anni dopo, anche Manning *et al.* (2006), seguendo procedimenti analoghi su reperti della stessa località, hanno fornito un’età di 3344.9 +/- 7,5 anni BP, quindi del tutto confrontabile con la precedente. Tramite procedimenti di correzione, questi autori hanno collocato l’evento minoico nell’intervallo compreso tra il 1660 e il 1605 a.C. Dati simili sono stati messi in evidenza anche per campioni provenienti da Miletos in Turchia e da Trianda nell’Isola di Rodi. Nel 2009 Bruins *et al.*, effettuata l’analisi del <sup>14</sup>C su ossa di animali contenute nei depositi di tsunami lungo la costa (Palaikastro) e nell’entroterra dell’isola di Creta, riconobbero età di 3350 +/- 25 BP e di 3352 +/- 23 BP rispettivamente, corrispondenti cioè a un periodo compreso fra il 1627 e il 1600 a.C. Recenti

<b>ANTICO MINOICO (AM)</b>	I A
	I B
	II A
	II B
	III A
	III B
<b>MEDIO MINOICO (MM)</b>	I A
	I B
	II A
	II B
	III A
	III B
<b>TARDO MINOICO (TM)</b>	I A
	I B
	II
	III A
	III B
	III C

13. Schema cronologico della civiltà minoica proposto da Arthur Evans.

studi di tipo dendrocronologico hanno consentito di appurare che proprio in coincidenza di tale periodo un evento climatico interferì sulla normale crescita degli alberi sia nel Nord America che nel Nord Europa; e che a questo evento significativo dell’emisfero settentrionale sembra collegarsi anche una forte riduzione dei raccolti verificatasi in Cina (nei documenti cinesi noti come “Annali di bambù” è infatti riportato che il passaggio dalla dinastia Xià a quella Shang, verificatosi intorno al 1618 a.C., fu accompagnato da “nebbia gialla, un fioco sole, dunque tre soli, ghiaccio a luglio, carestia e inaridimento di tutti e cinque i cereali”).

3650 – 3000 a.C.	AM I	<b>PREPALAZIALE</b> (prima della costruzione dei palazzi)
2900 – 2300 a.C.	AM II	
2300 – 2160 a.C.	AM III	
2160 – 1900 a.C.	MM IA	
1900 – 1800 a.C.	MM IB	<b>PROTOPALAZIALE</b> (periodo del palazzo antico)
1800 – 1700 a.C.	MM II	
1700 – 1640 a.C.	MM IIIA	<b>NEOPALAZIALE</b> (periodo del palazzo nuovo)
1640 – 1600 a.C.	MM IIIB	
1600 – 1480 a.C.	TM IA	
1480 – 1425 a.C.	TM IB	
1425 – 1390 a.C.	TM II	
1390 – 1370 a.C.	TM IIIA1	<b>TARDOPALAZIALE</b> (periodo del palazzo avanzato)
1370 – 1340 a.C.	TM IIIA2	
1340 – 1190 a.C.	TM IIIB	<b>POSTPALAZIALE</b> (a Cnosso, periodo del palazzo finale)
1190 – 1170 a.C.	TM IIIC	

14. Datazioni assegnate da Warren e Hankey (1989) al quadro cronologico “palaziale” della civiltà minoica proposto da Nicolaos Platon.

In base alla cronologia relativa proposta dall'inglese Arthur Evans (il padre dell'archeologia minoica), che si fonda sullo studio sia delle sequenze stratigrafiche che delle variazioni tecnologiche e degli stili di ceramica, il periodo minoico risulta suddivisibile in tre fasi principali: l'Antico Minoico (AM), il Medio Minoico (MM) ed il Tardo Minoico (TM). Queste tre fasi possono essere ulteriormente suddivise nel modo indicato nella figura 13.

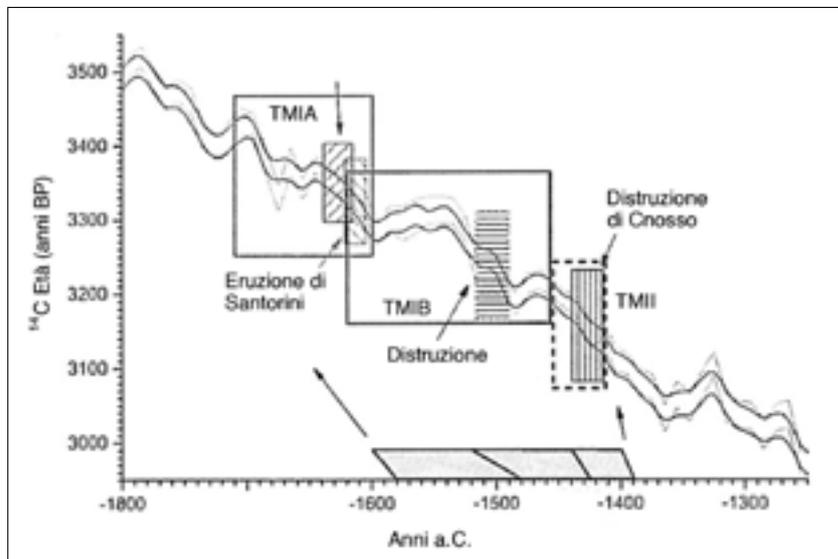
Per l'isola di Creta è stata proposta anche una cronologia relativa detta "palaziale", cioè basata sulle variazioni sia delle architetture dei palazzi che delle ceramiche in essi conservate. Seguendo questo criterio cronologico, nella prima metà del

secolo scorso l'archeologo greco Nikolaos Platon distinse cinque differenti età: Prepalaziale (AM IA - MM IA), Protopalaziale (MM IB - MM IIB), Neopalaziale (MM IIIA - TM IB), Tardopalaziale (TM II - TM IIIB1) e Postpalaziale (TM IIIB1 - TM IIIC). Warren & Hankey (1989) hanno cercato di fornire dati temporali alle suddivisioni utilizzate dagli archeologi. I risultati finali sono riassunti nello schema della figura 14.

Tradizionalmente la letteratura archeologica inquadra l'eruzione minoica all'interno della fase matura del TM IA, fornendone un'età compresa tra il 1525 e il 1500 a.C. Tenendo presente che i depositi da tsunami di Palaikastro, contenenti ceramiche del TM IA come elementi più



15. Elemento ceramico del Tardo Minoico IA, rinvenuto nel caotico deposito da tsunami nel promontorio di Palaikastro (da Bruins *et al.*, 2008).



16. Inquadramento cronologico proposto da Manning *et al.* (2006) per le fasi neopalaziali TMIA, TMIB e TMII.



17. Ubicazione dei siti archeologici di Mochlos e Palaikastro, dove sono state trovate evidenze dell'eruzione minoica. Depositi da tsunami sono stati riconosciuti anche a Didim e a Fethiye sulla costa turca (da Bruins *et al.*, 2008).

recenti (Bruins *et al.*, 2008; fig.15) sono datati con il radiocarbonio tra il 1627 e il 1600 a.C., risulta evidente una differenza di circa cento anni tra le età indicate. Ciò impone una revisione dei dati temporali da attribuire alla documentazione archeologica. Dell'argomento si sono interessati Manning *et al.* (2006), che hanno proposto una nuova estensione cronologica delle fasi neopalaziali TMIA, TMIB e TMII (fig. 16) rispetto a quanto indicato da Warren & Hankey; in particolare, gli stessi autori hanno appurato che tali fasi corrispondono rispettivamente agli intervalli 1710-1600, 1620-1460 e 1460-1410 anni a.C. In base a questi dati temporali l'eruzione di Santorini risulta inserirsi, con buona probabilità, nella parte iniziale della fase TM IB.

### Effetti dell'eruzione minoica sull'isola di Creta

Nella parte nord orientale dell'isola di Creta, e più esattamente nei siti archeologici di Palaikastro e di Mochlos (fig. 17), sono stati rinvenuti da Mac Gillivray *et al.* (1991, 1998) e da Bruins *et al.* (2008) depositi di cenere vulcanica e da tsunami (fig. 18) riferibili all'eruzione minoica. In letteratura si ritrova che i primi possano essersi formati addirittura in una fase precorritrice dell'eruzione vera e propria (alcune settimane o forse mesi prima delle principali



18. Depositi da tsunami nel promontorio di Palaikastro (da Bruins *et al.*, 2008).

fasi eruttive?), mentre i secondi siano riconducibili alla terza o, per qualcuno, quarta e ultima fase dell'eruzione. La documentazione fornita da questi siti, distanti poco più di 100 km da Santorini, testimonia quanto l'evento naturale sia stato grandioso (fig. 19).

Molti autori si sono sbizzarriti nel formulare teorie più o meno credibili sul possibile legame tra l'eruzione di Santorini e la fine della civiltà minoica (si veda fra gli altri Marinatos, 1939). Certo è che fin dalla fase iniziale di tale eruzione Creta dovette subire una lunga "pioggia" di lapilli infuocati, polveri e ceneri, mentre era avvolta da fumi scuri e densi che rendevano l'ambiente del tutto inospitale. Successivamente giunse anche l'impatto dello tsunami, che senza alcun dubbio portò distruzione sulla costa settentrionale dell'isola. Le aree interne con la città di Cnosso (fig. 20), invece, non furono raggiunte dall'onda a causa della loro quota. Il disastro, comunque, fu imponente e riguardò principalmente la flotta navale, le strutture a essa connesse e gli insediamenti abitativi; non è da escludere, anche, la decimazione degli abitanti che non erano riusciti a mettersi in salvo nelle aree più elevate. Il quadro generale di Creta doveva presentarsi decisa-



**19.** Recente emissione di ceneri da parte del vulcano cileno Puyehue (foto di Stephen e Donna O'Meara, *National Geographic*). Nel suo primo periodo di attività questo vulcano ha prodotto così tante ceneri da poter riempire ventiquattro milioni di camion. L'energia utilizzata per emettere questa quantità di materiale, stimabile attorno a cento megatoni, corrisponde a quella necessaria per fabbricare settanta bombe nucleari. È verosimile che la potenza esercitata durante l'eruzione minoica sia confrontabile o addirittura superiore a quella espressa da questo vulcano.

mente desolante e la sua economia di potenza marinara (la vantaggiosa posizione geografica dell'isola aveva favorito il sorgere di un fiorente impero marittimo che dal Mare Egeo controllava la rete commerciale con l'Egitto, la Siria, le regioni a nord del Mar Nero e l'Occidente) messa in ginocchio. Anche se l'evento vulcanico non produsse direttamente la fine della civiltà minoica (la cultura micenea divenne dominante nei siti di Creta solo dalla parte finale del TM IB; fra l'altro, ciò è corroborato dal ritrovamento di vasellame appartenente a questa fase in siti egiziani riferibili ai faraoni Hatshepsut e Tutmosis III), è evidente che il dominio cretese subì a seguito di questo un colpo gravissimo.

### **Effetti dell'eruzione minoica sulle aree costiere dell'Egitto**

Il pensiero che il mondo egizio fosse suscettibile, pur con la sua complessità, di offrire evidenze importanti connesse all'eruzione minoica, ha portato nel tempo a cercare possibili relazioni tra quest'ultima ed alcuni avvenimenti storici relativi alle antiche popolazioni mediterranee. In particolare, si è tentato di stabilire l'in-



**20.** Ubicazione dei principali siti archeologici nell'Isola di Creta.

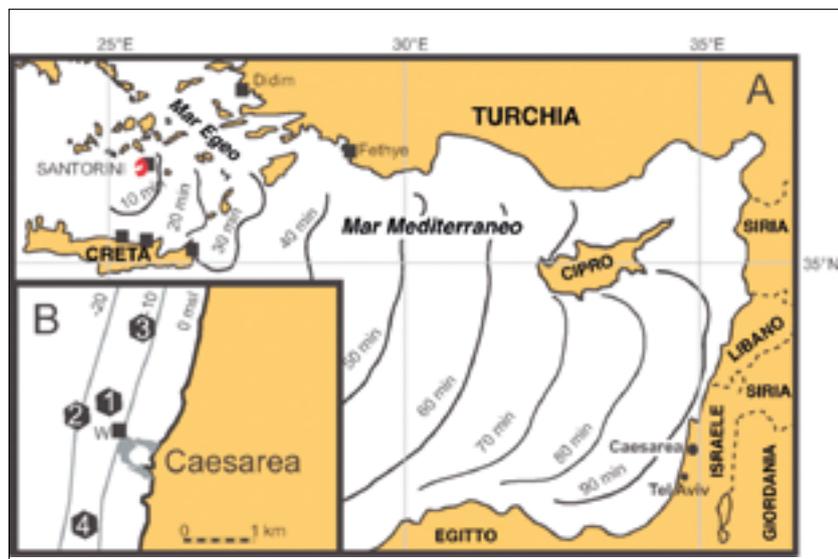
fluenza di tale eruzione sui fatti narrati nel Libro dell'Esodo, i quali riguardano la tradizione religiosa ebraico-cristiana. Sull'argomento, anzi, è stata prodotta un'ampia letteratura da parte non solo di storici, archeologi, biologi e geologi, ma anche di giornalisti e registi (per questi ultimi si ricorda Simcha Jacobovici, che nel 2006 realizzò il film-documentario *The Exodus Decoded*). Molto di quanto è stato scritto o rappresentato ha fatto leva su "parallelismi" di indubbia suggestività, ma non sempre dotati di fondamento scientifico per via della mancanza di dati cronologici accurati. Certo è che lo tsunami suscitato dall'eruzione minoica e non ostacolato da Creta (fig. 21) deve aver raggiunto in breve tempo le aree costiere dell'Egitto e delle altre regioni del Mediterraneo orientale producendo effetti significativi; d'altra parte, non solo lo tsunami, ma anche le precedenti emissioni di gas, polveri, lapilli e ceneri devono aver avuto una qualche conseguenza. Nel seguire queste considerazioni è stato possibile constatare che dati scientifici da mettere in relazione con lo tsunami non sono a tutt'oggi conosciuti, mentre dati relativi agli effetti delle fasi eruttivo-esplosive del vulcano, seppure scarsi, possono essere ricavati dalla documentazione storica.

#### LA DOCUMENTAZIONE EGIZIA

Secondo il quadro cronologico convenzionale dell'antica civiltà egiziana (fig. 22), il contesto storico di quest'ultima nel quale si verificò l'eruzione di Santorini vede il dominio degli *Hyksos* nella parte settentrionale del paese e oltre (fig. 23).

Tra le molteplici invasioni subite dagli Egiziani, quella degli *Hyksos* fu la più antica. Secondo il racconto biblico la tribù capostipite degli Ebrei israeliti – ovvero quella di Giacobbe e dei suoi

**21.** Ricostruzione del tempo impiegato dallo tsunami impiegato dalla *tsunami* causato dall'eruzione minoica per raggiungere le varie regioni del Mediterraneo orientale.



dodici figli maschi – proveniva da Shalem presso Sichem in quella che attualmente è la Cisgiordania centrale. Durante il XVIII secolo a.C. le tribù semitiche viventi in quest'area formavano parte del regno di Mari, la cui capitale era ubicata a Tell Hariri, una collina sorgente sulla sponda occidentale dell'Eufrate circa 20 km a nord dell'odierno confine tra la Siria e l'Iraq. Nel 1933 un'equipe di archeologi francesi guidata da André Parrot iniziò una campagna di scavi su tale collina, portando alla luce non soltanto uno splendido palazzo reale composto da più di trecento camere e riccamente decorato di statue e affreschi, ma anche migliaia di tavolette d'argilla scritte che hanno fornito preziose informazioni sulla storia del regno di Mari e dei suoi stati vassalli. Tutti questi reperti risultano risalenti al 2000 a.C. circa.

Intorno al 1800 a.C. i Babilonesi invasero il regno di Mari e ne conquistarono e distrussero la capitale; di conseguenza le tribù che vi risiedevano – composte da Cananei, Amorrei, Arabi settentrionali, Hurrei e altri – migrarono in massa a sud-ovest nel territorio di Canaan, ove formarono un'efficace alleanza. Verso la fine del XVII secolo il suddetto coacervo di tribù era diventato talmente potente da costituire una minaccia per gli Egiziani, i quali si riferivano a loro come *Hikau khasut*, cioè “dominatori degli altipiani de-

sertici”: denominazione che più tardi Manetone, un sacerdote della XXX dinastia (III secolo a.C.) autore di una storia dell'Egitto scritta in greco, modificò in *Hyksos*, termine tuttora usato dagli storici per indicare i sovrani della XV e XVI dinastia. È dunque evidente che Giacobbe e la sua famiglia dovevano far parte di una delle tribù del popolo hyksos.

Secondo l'Antico Testamento quello di “Israele” – cioè “Dio lotta” – corrisponderebbe al nuovo nome che Dio assegnò a Giacobbe e ai suoi discendenti. La più antica citazione di questo nome in fonti extra-bibliche si trova in una stele che descrive la campagna militare nella terra di Canaan effettuata dal faraone Merneptah, figlio di Ramsete II, alla fine del XIII secolo a.C.; nel corso di questa campagna un popolo chiamato Israele fu decimato a tal punto che il faraone giunse a proclamare la frase “non vi è più il seme di Israele!”. Sebbene l'affermazione non sia veritiera, essa sta in ogni caso a indicare che a Canaan doveva esistere un gruppo sociale noto come Israele. E infatti intorno a quell'epoca apparvero nelle aree montuose centrali di questo territorio decine d'insediamenti che sono stati collegati ai primi israeliti.

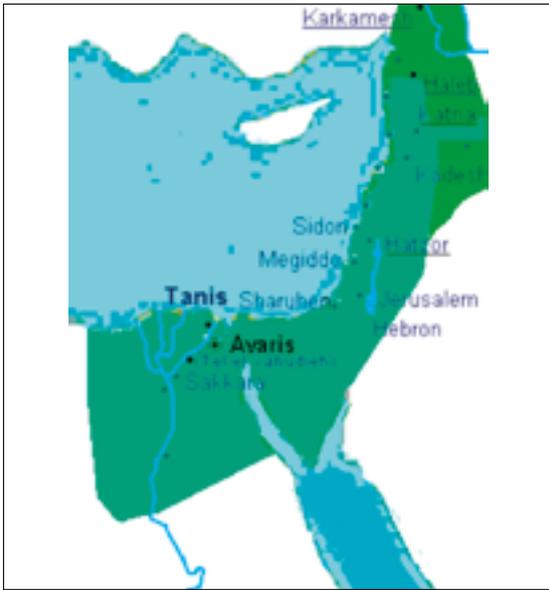
In nessuna delle iscrizioni o dei monumenti connessi al periodo degli *Hyksos* è stata mai trovata menzione del nome Israele, né esso appare

	Dinastie egizie	Re principali	Anni di regno	Date (a.C.)
Periodo predinastico				3500-3200
Naqada I e II				
Protodinastico				3200-3100
Arcaico	I-II			3100-2700
Antico Regno	III-VII	VI Pepi II	90	2700-2137
Primo Periodo Intermedio	VIII-X			2134-1786
Medio Regno	XII	XII Sesostri III	35	1878-1843
		Sobeknofru	3	1789-1786
Secondo Periodo Intermedio (includente i Re Hyksos)	XIII-XVIII (XV-XVI) XVII			(1730/1650-1575)
Nuovo Regno	XVIII-XX	XVII Kamosis	3?	1578-1575
		XVIII Ahmosis	25	1575-1550
		Amenhophis I	21	1550-1528
		Tuthmosis I	9	1528-1510
		Tuthmosis II	18/20	1510-1490
		Hatshepsut	22/20	1490-1468
		Tuthmosis III	54	1490-1436
		Amenhophis II	23	1436-1413
		Tuthmosis IV	8	1413-1405
		Amenhophis III	39/38	1405-1367
		Amenhophis IV (Akhenaton)	17	1367-1350
		Smenkhare	3?	1352-1350
		Tutankhamen	8	1347-1339
		XIX Ay	4	1339-1335
		Horemhab	28/27	1335-1308
		Ramsete I	2	1308-1307
		Sethi I	17	1308-1291
		Ramsete II	66	1290-1224
		Merneptah	10	1224-1214
		XX Sethi II	6	1214-1208
		Siptah	6	1208-1202
		Ramsete III	21	1182-1151
		Ramsete VI	7	1141-1134
		Ramsete IX	17	1134-1117
Età tarda	XXI-XXXI			
		XXII Osorkon II	29	881-852?

22. Quadro cronologico dell'antica civiltà egiziana.

in iscrizioni egiziane più tarde o nel ricco schedario cuneiforme del XIV secolo a.C. rinvenuto a Tell el-Amarna (la città in cui risiedeva il faraone Akhenaton), che pure conteneva circa quattrocento lettere descrittive in dettaglio le condizioni sociali, politiche e demografiche di Canaan. Come emerge dall'analisi di Finkelstein & Silberman (2001), con ogni probabilità gli Israeliti si costituirono a Canaan come gruppo distinto solo in modo graduale a partire dalla fine del XIII secolo a.C. Gli archivi egiziani sopravvissuti menziona-

no invece due gruppi di stranieri nella società cananea: gli *Habiru* (il termine è di incerta origine: forse significa “quelli che vagano a piedi” o “quelli che vivono nella polvere”, oppure è in relazione con il fiume Khabur, affluente del Tigri, dove si concentrava questa gente) e gli *Shosu*. I primi, descritti come “fuorilegge” o “mercenari” nelle lettere di Tell el-Amarna e in altri testi dell'Età del Bronzo, dovevano vivere al margine della società principale cananea sradicati dalle loro case per via della guerra, della carestia o delle pesanti tas-



23. Area (in verde con sfumature) nella quale si impose il dominio Hyksos (1720-1570 a.C.).

se cui erano sottoposti; i secondi dovevano essere pastori nomadi, allevatori di pecore e capre che vivevano soprattutto nelle regioni di frontiera tra Canaan e la Transgiordania.

È possibile che le radici del misterioso Israele possano trovarsi negli *Habiru* o negli *Shosu*, magari chiamati con un altro nome? L'archeologo e storico Mordechai Snyder segnala (Phillips, 2002) che in una tavoletta d'argilla incisa del 1820 a.C. proveniente da Mari e conservata nel Museo del Louvre di Parigi, il re di Mari Zimri-Lim riferisce appunto di un popolo chiamato *Habiru* residente nel suo regno; lo stesso studioso rivela altresì che nei registri degli schiavi hyksos reperibili in più fonti egiziane si trova menzione di un popolo dal nome molto simile, quello di *Hapiru*.

Lasciando da parte il problema dell'origine degli Israeliti e ritornando agli *Hyksos*, si rileva che nei documenti egizi i primi accenni che li riguardano risalgono a poco dopo la caduta del regno di Mari. Diversamente dai precedenti mercanti semiti, che compivano più o meno regolarmente viaggi commerciali in Egitto senza però stanziarsi a lungo, sembra che a partire dal XVIII secolo a.C. le tribù hyksos abbiano cominciato a risiedervi in modo permanente. Un testo risalente al 1745 a.C. circa, per esempio, contiene

una lista dei servi hyksos nella casa del faraone Sobekhotep III. Nell'arco di un cinquantennio, però, furono gli *Hyksos* a divenire dominatori. Approfittando dell'indebolirsi del potere centrale che ebbe luogo durante le dinastie XIII e XIV, allorché il governo passò alla regina Sobeknofru per la morte di Amenemhat IV, essi si stanziarono in massa lungo il delta del Nilo fino a superarne numericamente la popolazione locale e ad assicurarsene il controllo. Per tutto il seguente secolo e mezzo, pertanto, l'Egitto divenne così diviso: nel nord, il regno degli *Hyksos* facente capo alla città di Avaris; nel sud, il regno dei faraoni con Tebe come nuova capitale.

In base all'iscrizione di una stele risalente all'epoca di Ramses II (1303-1212 a.C.), la presa di Avaris da parte delle popolazioni semitiche può essere fissata intorno al 1720 a.C.. Da Avaris, poi, seguendo la linea orientale del delta del Nilo, gli *Hyksos* cercarono di estendere il loro potere fino a Menfi, ma non riuscirono a superare il limite fra il Basso e il Medio Egitto. Pur essendo relativamente poche le testimonianze concernenti il dominio degli *Hyksos* (in quanto i faraoni che regnarono dopo la loro cacciata dall'Egitto tentarono di cancellarne ogni traccia), è certo che questi si avvalsero della medesima struttura amministrativa degli Egizi e che, pur conservando la loro matrice culturale semitica, diedero impulso alla diffusione della letteratura e alla costruzione di opere monumentali rispettando i canoni artistici vigenti in precedenza. Manetone scrive che gli *Hyksos* non si limitarono a svolgere il ruolo di invasori del nord dell'Egitto, ma emularono anche gli Egizi imponendosi essi stessi come faraoni. Identificati dagli egittologi come rappresentanti delle dinastie XV e XVI (il fondatore della prima fu Salitis), essi costruirono ad Avaris un nuovo e grande palazzo che è stato riportato alla luce in tempi recenti. Gli scavi dell'archeologo austriaco Manfred Bietak hanno rivelato che i faraoni hyksos conducevano la medesima vita sfarzosa di quelli egizi dei quali avevano assunto il ruolo. Inoltre essi non soltanto stabilirono contatti commerciali con Creta, l'Egeo, l'Anatolia e alcune località del Vicino Oriente, ma strinsero an-



24. Sculture raffiguranti Ahmosis (a sinistra) e Tuthmosis III (a destra).

che legami di collaborazione con la Nubia, alleandosi con essa per contrastare il potere di Tebe. Dopo il regno di Yaqub-har, successore di Salitis, Khyan (1620 a.C. circa) condivise con Apophis I (1580-1540 a.C.) il primato della notorietà e potenza tra i sovrani hyksos. A Tebe, nel frattempo, da un ramo della XIII dinastia nasceva una nuova dinastia di faraoni, la XVII.

La Bibbia narra che Giacobbe e i suoi discendenti si insediarono nella terra di Goshen, cioè presso Avaris, ove vissero in condizioni talmente prospere da diventare migliaia in poche generazioni. L'asserzione è senz'altro credibile, considerando il fatto che il Basso Egitto di allora era un regno semita popolato da tribù hyksos e che i predecessori degli Ebrei potevano costituire una parte consistente di queste tribù. Anzi, poiché uno dei faraoni hyksos si chiamava Yaqub-har – nome molto simile a quello di Giacobbe, particolarmente diffuso tra gli Ebrei (Peter Clayton, *Chronicle of the Pharaohs*, pag. 45: citato da Phillips, 2002) – e poiché sembra che questi sia stato uno degli ultimi della XVI dinastia, è del tutto probabile che quando gli Egizi riconquistarono il regno del nord i discendenti di Giacobbe ne rappresentassero l'élite dominante.

Come detto in precedenza, è presumibile che gli effetti dell'eruzione minoica abbiano assestato un

colpo violento alla stabilità della struttura socio-economica e politica del Basso Egitto. Potrebbe essere stato proprio l'indebolimento del potere degli Hyksos legato all'eruzione, a convincere la monarchia tebana di progettare l'unificazione dell'Egitto. Fra l'altro, fino a quel momento gli Hyksos avevano costituito un ostacolo tutt'altro che indifferente, poiché oltre ad essere dotati di spade curve, archi compositi, elmi e corazze, avevano introdotto l'uso di carri da guerra trainati da cavalli.

Il primo faraone tebano ad intraprendere la guerra contro gli Hyksos fu Sekenenre II intorno al 1570 a.C., ma l'incursione fallì e il re rimase ucciso (il suo corpo mummificato, trovato nel 1881, mostrava ferite di spada al collo e alla testa). Il figlio Kamosis, che prese il suo posto, lanciò un'offensiva in grande contro Apophis I e lo respinse fino alle mura di Avaris. Secondo la cronaca di tale campagna militare, riportata su una stele del tempio tebano di Amon-Ra scoperta nel 1954, Ahmosis (fig. 24), fratello minore di Kamosis nonché suo successore al trono, mantenne alta la pressione: mise l'assedio ad Avaris, che cadde intorno al 1550 a.C., e inseguì nel territorio di Canaan gli Hyksos sconfitti. Con Ahmosis, quindi, onorato dalle generazioni future quale fondatore della XVIII dinastia, il paese tornò a essere unificato sotto il dominio egizio. È inoltre un fatto storico che sotto la guida dei faraoni di questa dinastia gli eserciti colpirono e devastarono ripetutamente la terra di Canaan. Durante la prima metà del XV secolo a.C. Tuthmosis III (fig. 24), definito anche come "il Napoleone dell'antico Egitto" per le sue capacità militari, sbaragliò definitivamente gli Hyksos nella battaglia di Megiddo e ne ricondusse a migliaia incatenati in Egitto. Questo potrebbe essere il tempo di cui narra l'Esodo quando gli israeliti sono fatti schiavi dagli Egiziani. E in effetti nelle pitture tombali della XVIII dinastia non mancano scene in cui si vedono schiavi hyksos che fabbricano mattoni, con capi-squadra intenti a sorvegliarli e armati di verghe.

Attualmente conservata in Belgio presso l'università cattolica di Louvain, la cosiddetta "Stele della Tempesta" fu scolpita in Egitto durante il

primo anno del regno di Ahmosis I. Nonostante sia notevolmente danneggiata (fig. 25), lo scritto in essa contenuto è stato più volte messo in relazione con l'eruzione minoica; non sono mancati, comunque, gli autori che lo hanno interpretato come non più che una metafora per lo stato di caos generato dagli *Hyksos*, nei confronti del quale il faraone era impegnato a ristabilire l'ordine. Dalla sua lettura, in ogni caso, sembra delinearsi l'immagine di un Egitto tormentato da oscurità atmosferica, da devastanti temporali seguiti da alluvioni e, forse, da violente scosse di terremoto.

Un'altra documentazione significativa per i possibili legami tra gli eventi che esprime e gli effetti dell'eruzione minoica è rappresentata dal cosiddetto "Papiro di Ipuwer". Rinvenuto nel 1909 intorno alle piramidi di Saqqara presso Menfi e risalente al Nuovo Regno (XIII secolo a.C.), il papiro (fig. 26) sembra essere la trascrizione di un testo più antico riguardante il Primo Periodo Intermedio (XIX-XVII secolo a.C.). Come la "Stele della Tempesta", anch'esso narra di un Egitto sconvolto da contrasti politico-sociali innescati dall'occupazione da parte di popolazioni nomadi ("[...] i beduini si atteggiavano ad Egiziani [...] il furfante si trova in ogni luogo [...] I cuori sono violenti, il terrore dilaga e la nobiltà è costretta a mangiare l'erba dei prati ed a bere l'acqua del Nilo") e da calamità naturali associate a variazioni climatiche ("I campi non danno più grano, il bestiame muore di malattia od è raziato, l'acqua del fiume è sangue").

Secondo alcuni studiosi, il desolante quadro dell'Egitto disegnato dalla Stele della Tempesta e dal Papiro di Ipuwer rifletterebbe il medesimo contesto in cui, secondo l'Antico Testamento, si verificarono le Piaghe d'Egitto, cioè quei "flagelli" inflitti da Dio agli Egiziani per costringerli a liberare gli Ebrei dalla schiavitù. Come vedremo, la somiglianza degli avvenimenti trattati invita fortemente a sostenere una loro corrispondenza.

#### LA DOCUMENTAZIONE BIBLICA

Com'è noto, per il Libro dell'Esodo le Piaghe d'Egitto si realizzarono nella seguente successione: I - tramutazione dell'acqua in sangue; II - in-

vasione di rane; III - invasione di zanzare; IV - invasione dei mosconi; V - moria del bestiame; VI - ulcere su animali e umani; VII - grandine; VIII - invasione di cavallette; IX - tenebre; X - morte dei primogeniti maschi. Nell'articolo non cercheremo di seguire questa successione, che potrebbe rendere più difficoltosa la comprensione, ma di volta in volta confronteremo una piaga con un effetto della sequenza realmente registrata in eventi vulcanici significativi degli ultimi 150 anni.

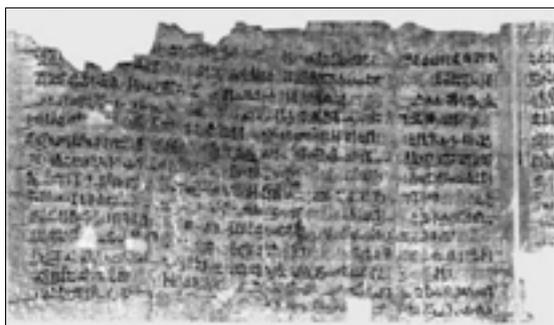
Piaga IX - tenebre.

*"Il Signore disse a Mosè: 'Stendi la tua mano verso il cielo, e sul paese d'Egitto scendano tenebre così fitte che si possano toccare'. Mosè stese la sua mano verso il cielo, e per tre giorni dense tenebre ricoprirono tutto l'Egitto. Gli Egiziani non si vedevano l'un l'altro: nessuno, per tre giorni, poté muoversi dal luogo dov'era. Ma per tutti i figli d'Israele non venne meno la luce nelle loro dimore."* (Esodo X, 21-23).

Premesso che la durata di "tre giorni" dell'evento potrebbe essere puramente simbolica in quanto nella Bibbia tale espressione è spesso usata per indicare il tempo intercorrente tra "il castigo e la salvezza", quelle tenebre potrebbero rappresentare la conseguenza dello sviluppo di una massiccia nuvola di cenere vulcanica connesso ad un'eruzione. Se consideriamo, ad esempio, la sequenza che interessò il vulcano Pelée (Isola della Martinica) l'8 maggio del 1902, possiamo constatare quanto sia reale questo collegamento. Dalla cronaca del tempo risulta, infatti, che due enormi nubi nere di materiale vulcanico uscirono dal cratere: una puntò diritta verso l'alto, per poi espandersi nel cielo ed oscurare completamente il sole; l'altra scivolò lungo i fianchi del vulcano e si mosse verso il basso dirigendosi su Saint-Pierre (città principale dell'isola). In merito si ricorda ancora che uno dei più importanti piantatori dell'isola, fuggito nella sua casa di campagna situata a più di 5 km di distanza dalla città, rimase a contemplare con la famiglia le incredibili nubi nere e le ceneri calde che scendevano dal cielo: le tenebre erano così fitte che egli "non poteva vedere i suoi familiari a pochi centimetri di distanza e dovette cercarli brancolando a tentoni nel buio" (Redattori



25. La "Stele della Tempesta".



26. Il "Papiro di Ipuwer".

di Time-Life, 1984, 28). Si rileva infine che il 18 maggio 1980 accadde un fenomeno simile nello stato di Washington (USA) a seguito dell'eruzione del Mount St. Helens: il sole rimase oscurato per molte ore e la cenere vulcanica avviluppò il paesaggio in un'oscurità così fitta che neppure i fari delle automobili riuscivano a penetrarla (Redattori di Time-Life, 1984).

Piaga VII: grandine.

*"Allora Mosè stese la sua verga verso il cielo, e il Signore mandò tuoni, grandine e lampi sfolgoranti. Il Signore fece cadere una terribile grandinata sopra la terra d'Egitto, e lampi guizzanti in mezzo alla grandine. Essa fu di una violenza sconosciuta da quando l'Egitto è diventato nazione. La grandine percosse l'intero paese: tutto quello che c'era all'aperto, uomini e animali; devastò la verdura dei campi, e schiantò per-*

*sino gli alberi della campagna."* (Esodo IX, 23-26).

Se si accetta l'interpretazione del Midrash secondo la quale ciò che realmente cadde dal cielo non fu grandine comune ma fuoco, allora questa descrizione coincide perfettamente con la catastrofe capitata alle popolazioni costiere di Sumatra dopo una significativa eruzione del Krakatoa: una fitta pioggia di lapilli infuocati che appiccarono incendi al suolo e distrussero alberi e case, mentre numerosi fulmini provocati dall'immane turbolenza all'interno della nube vulcanica caddero al suolo.

Piaga VI: ulcere su animali e umani.

*"Essa diventerà polvere finissima che coprirà tutto l'Egitto, e sugli uomini e sugli animali di tutto l'Egitto produrrà delle ulcere che si trasformeranno in pustole."* (Esodo IX, 9).

Questo passo potrebbe corrispondere al resoconto di persone che vivevano negli stati di Washington, Idaho e Montana (USA) dopo l'eruzione del Mount St. Helens. In centinaia furono ricoverate in ospedale con ulcerazioni sulla pelle causate dall'esposizione alla cenere acida; inoltre il bestiame morì o dovette essere abbattuto in seguito alla prolungata inalazione della polvere vulcanica. Nella Martinica, quando nel 1902 la nube ardente del vulcano Pelée avviluppò la città di Saint-Pierre, dei trentamila abitanti di quest'ultima ne sopravvissero solo due: un giovane calzolaio e un detenuto della locale prigione. Molto probabilmente il primo si salvò grazie alla sua robusta costituzione e alla posizione della casa in cui abitava (al limite della zona investita dalla nube), il secondo perché si trovava in una cella dotata solo di una piccola apertura al di sopra della porta. "Stavo seduto sulla soglia di casa", ricordò il calzolaio, "quando sentii soffiare un vento terribile, la terra cominciò a tremare e il cielo si oscurò. Mi girai e con enorme difficoltà superai i tre o quattro scalini che mi separavano dalla stanza. Sentivo le braccia, le gambe, tutto il corpo che bruciavano. [...] Con le poche forze che mi rimanevano, le gambe sanguinanti e coperto di ustioni, corsi a Fonds-Saint-Denis, a 6 km da Saint-Pierre". Quanto al detenuto, allorché fu intervistato da un giornalista nordamericano poco

dopo la catastrofe era in condizioni così disperate che lo stesso cronista disse: “Credo che egli abbia riportato le più orribili ustioni che io abbia mai visto”. Il detenuto raccontò, poi, che la sua cella era divenuta improvvisamente buia e attraverso la grata della porta erano arrivate raffiche di aria calda miste a ceneri, che lo avevano bruciato. Questo calore intenso era durato alcuni istanti, durante i quali aveva trattenuto il fiato; i vestiti non avevano preso fuoco, ma sotto la camicia la schiena era gravemente ustionata (Redattori delle Edizioni Time-Life, 1984, 26-27).

Piaga V: moria del bestiame.

*“Il giorno dopo il Signore eseguì quanto aveva minacciato e tutto il bestiame d’Egitto perì”* (Esodo IX, 6)

L’emissione di gas letali e l’imponente produzione di ceneri, polveri e lapilli non può non avere avuto ripercussioni, oltre che sugli esseri umani, anche sugli animali domestici e su numerosi altri organismi presenti nell’ambiente. L’eruzione del Mount St. Helens, ad esempio, provocò una grande moria di uccelli e di pesci.

Piaga I - tramutazione dell’acqua in sangue (fig. 27).

*“Mosè e Aronne fecero come aveva comandato il Signore. Aronne alzò dunque la verga e percosse le acque del fiume alla presenza del Faraone e dei suoi servi e tutte le acque del fiume si cambiarono in sangue. I pesci del fiume morirono, sicché il fiume puzzava e gli Egiziani non potevano berne l’acqua, e in tutto l’Egitto vi fu sangue.”* (Esodo VII, 20-21).

L’intensa caduta di ceneri e lapilli nelle ac-

que del Nilo deve aver determinato una forte riduzione del tenore in ossigeno e il formarsi di composti chimici più o meno tossici e legati alla decomposizione di ingenti quantità di materia organica. Tali condizioni anomale possono essersi ulteriormente accentuate per lo sviluppo di cianobatteri, responsabile principale del ben noto fenomeno dell’arrossamento delle acque. Ancora oggi gli Egiziani usano il termine “Nilo rosso” per esprimere non solo il colore ma anche la condizione di stress in cui versa il fiume in questa circostanza.

Se le cinque piaghe esaminate in precedenza si presentano interdipendenti e coerenti con lo scenario di un’eruzione vulcanica, le restanti cinque potrebbero sembrare a prima vista come scollegate dalle prime e del tutto autonome nei confronti del medesimo scenario. Invece non è così in quanto gli effetti di un’eruzione incidono sui normali equilibri dell’intero ecosistema. Quando un territorio è devastato da un’eruzione e coperto da cenere vulcanica la maggior parte delle forme di vita circostanti viene eliminata o soffre in maniera drammatica; alcune forme, invece, direttamente o indirettamente acquistano maggiore vitalità dalla tragedia. È il caso di invertebrati come gli insetti, che rimangono al sicuro sotto la superficie del suolo nel loro stato di uovo, larva o pupa, nonché di vertebrati come le cecilie (anfibi), i serpenti e i roditori, che scavano le loro tane nel sottosuolo. In particolare gli insetti, che hanno un breve ciclo vitale e quindi si riproducono in grandi quantità, una volta sopravvissuti alla cala-

**27.** Veduta del Nilo nei periodi in cui è evidente il fenomeno dell’“arrossamento” delle acque per la diffusione di cianobatteri.



mità e divenuti adulti escono in massa dal manto di cenere e sciamano ovunque spinti dalla bramosia di cibo e dalla necessità di nuove abitazioni. In questa circostanza occorre proprio dire che il cielo aiuti chi si trova sul loro cammino!

A fornire un ottimo esempio di quanto sopra è ancora quel che successe nel 1902 nell'isola Martinica. Alcuni giorni dopo l'eruzione del Pelée, in un grande zuccherificio a nord della città di Saint-Pierre si verificò una terrificante invasione di piccole formiche giallastre maculate e di neri centopiedi lunghi circa 30 cm, entrambi velenosi. In una zona di Saint-Pierre, però, ci fu un'invasione ancora più micidiale: centinaia di serpenti comparvero improvvisamente nelle strade. Tra questi rettili c'erano esemplari del vipereide Ferro di lancia (*Bothrops atrox*), il cui morso può essere letale nel giro di pochi minuti. "I serpenti invasero il quartiere uccidendo polli, maiali, cani, cavalli e attaccarono uomini e donne, specie quelli che non si allontanavano velocemente dal loro cammino. Furono uccisi molti bambini" (Redattori delle Edizioni Time-Life, 1984, 26-27).

Secondo la Bibbia, tre tipi di insetti infestaron l'Egitto. Prima le zanzare (Piaga III): "Aronne stese la mano, con cui teneva la sua verga, e percosse la polvere del suolo. Allora sciame di zanzare si gettarono sulle persone e sulle bestie. Tutta la polvere del suolo diventò zanzare nell'intero paese d'Egitto." (Esodo VIII, 13). Poi le mosche (Piaga IV): "Io manderò su di te e sopra i tuoi servi, sul tuo popolo e nelle tue case sciame di tafani, e ne saranno piene le case degli Egiziani e il suolo su cui abitano. [...] E il Signore così fece. Sciame di molesti tafani vennero nella casa di Faraone e nelle case dei suoi servi, e in tutto l'Egitto la terra fu danneggiata a causa dei tafani." (Esodo VIII, 17, 20). E infine le cavallette (Piaga VIII): "Esse invasero tutto l'Egitto e si posarono in ogni sua parte in quantità così incalcolabile che mai ci fu l'eguale nel passato e non ci sarà in avvenire. Ricoprirono la faccia di tutto il paese, sì che l'Egitto ne fu oscurato, e divorarono tutta l'erba del paese e tutti i frutti degli alberi che la grandine aveva risparmiato: niente rimase di verde sugli alberi o nei campi in tutto l'Egitto." (Esodo X, 14-15).

Le cavallette continuano tuttora a rappresentare un drammatico flagello per le popolazioni nordafricane. Quanto alle zanzare e ai mosconi, ancora oggi essi si riproducono in Egitto in grandi quantità ad ogni riflusso delle acque del Nilo, con l'incrementarsi delle superfici paludose e delle acque stagnanti. Può darsi che invece di zanzare e mosconi comuni si sia trattato di due ditteri ematofagi: rispettivamente il *Culicoides imicola*, in grado di trasmettere i virus del morbo della lingua blu e della peste equina, e la cosmopolita *Stomoxys calcitrans*, nota come "mosca cavallina" o "mosca pungente", suscettibile di trasmettere infezioni batteriche da *Burkholderia mallei*, l'agente eziologico della morva (una malattia infettiva e contagiosa degli equini generalmente ad esito letale). L'assenza di effetti sulla collina di Goshen, abitata dagli Ebrei con il loro bestiame, può forse essere collegata al fatto che essa era più elevata e ventilata rispetto al territorio malarico frequentato dalla maggior parte degli abitanti dell'Egitto.

Prima ancora di quella degli insetti, la Bibbia descrive l'invasione delle rane (Piaga II): "E Aronne stese la sua mano sulle acque d'Egitto e le rane vennero su e ricoprirono tutto il paese." (Esodo VIII, 2). A questo proposito, possiamo nuovamente rifarci a un esempio concreto come quello dell'eruzione del Mount St. Helens, che, intossicando i corsi d'acqua limitrofi e uccidendone pressoché integralmente la vita interna, ne provocò la repentina fuoriuscita in massa degli anfibii anuri. Il risultato fu un'invasione di rane in gran parte dello stato di Washington, che portò all'infestazione di campagne e centri abitati; sulle strade ne rimasero schiacciate così tante che le condizioni di guida dei veicoli divennero pericolose. Esattamente quello che avvenne nell'antico Egitto secondo il racconto dell'Esodo (VIII, 2-8).

Rimane aperto il problema della decima piaga, cioè la morte dei primogeniti maschi. Una delle spiegazioni suggerite prende in considerazione l'immagazzinamento dei prodotti alimentari più comuni (l'orzo, il grano e i foraggi per il bestiame) in condizioni non idonee alla conser-



28. Località della Penisola del Sinai coinvolte nella ricostruzione del "percorso dell'Esodo".

vazione a seguito della caduta di ceneri vulcaniche e piogge acide sulle coltivazioni. Secondo tale ipotesi, dai prodotti attaccati dalle muffe si svilupparono in modo abnorme tossine letali; i primogeniti, che per tradizione mangiavano per primi ed in maggior quantità il cibo (pane, birra e carne), subirono così l'avvelenamento consumando l'immane tragedia.

Nel corso degli anni, vari studiosi hanno messo in relazione le Piaghe d'Egitto con fenomeni naturali di tipo ordinario, seppure occasionalmente di eccezionale vigore: le invasioni di cavallette, mosche e zanzare non dovevano essere eventi troppo insoliti; le ulcere furono forse causate da un'epidemia; l'oscurità diurna potrebbe essere stata l'effetto di una tempesta di sabbia particolarmente violenta; la grandine e l'arrossamento del Nilo il risultato di insolite condizioni meteorologiche. La probabilità che tutti questi fenomeni si verificassero contemporaneamente appare comunque piuttosto remota, mentre un'eruzione vulcanica li spiegherebbe tutti.

Il solo reale problema nel collegare le piaghe a un'eruzione sta nel fatto che nella Bibbia esse non appaiono secondo l'ordine con cui avrebbero effettivamente dovuto presentarsi dopo un simile evento. Le tenebre e la grandinata di lapilli sarebbero dovute arrivare per prime, seguite dalle ul-

cere, dall'arrossamento del fiume, dalla moria del bestiame e dei pesci e, qualche tempo dopo, dalle invasioni di rane e di insetti. D'altra parte non si può dimenticare che il testo biblico è stato messo per iscritto nella sua forma definitiva in Giudea tra il VI e il V secolo a.C., cioè molti secoli dopo gli eventi da esso descritti (Finkelstein & Silberman, 2001); è quindi ragionevole ritenere che nel racconto di questi ultimi, trasmesso oralmente per generazioni e generazioni, possano essere stati effettuati spostamenti e sovrapposizioni anche di non poco rilievo.

Se consideriamo che l'eruzione minoica rappresenta l'unico evento dell'Età del Bronzo in grado di influire sugli avvenimenti storici del Mediterraneo orientale, quanto sopra svolto consente di definire lo stretto legame tra lo stesso evento e le Piaghe d'Egitto."

## Conclusioni

L'eruzione minoica, collocabile secondo le più recenti datazioni basate sul radiocarbonio tra il 1627 e il 1600 a.C., ha prodotto conseguenze in diverse aree del Mediterraneo orientale giungendo a influenzare anche la storia dell'Uomo.

La documentazione raccolta a Creta, in particolare nei siti archeologici di Palaikastro e Mochlos, ha messo in evidenza effetti dell'eruzione (si crearono condizioni inospitali per la diffusione di fumi, ceneri e lapilli, nonché di morte e distruzione per l'impatto di uno tsunami sulla costa settentrionale) che fanno presupporre un arresto della potenza navale dell'isola e, quindi, della sua economia. Tra l'altro, non è da considerarsi un caso se dopo questo "forte indebolimento" del loro dominio i cretesi dovettero subire un'invasione che li fece entrare nella sfera d'influenza della civiltà micenea.

Anche dalla documentazione egizia (narrazioni del Papiro di Ipuwer e incisioni nella Stele della Tempesta) è possibile dedurre effetti comparabili, sebbene non relativi a quelli di uno tsunami. A causa dell'eruzione, comunque, nei territori del delta del Nilo il potere degli Hyksos cominciò a

vacillare e ciò rese concreto il progetto di riconquista del Basso Egitto da parte della dinastie tebane.

Se le piaghe del Libro dell'Esodo dovessero rappresentare l'espressione dell'eruzione minoica, allora la liberazione degli Ebrei dalla schiavitù a opera di Mosè e la loro uscita dall'Egitto (attraverso il Mare di Giunco, Yam-Suf, tradizionalmente ritenuto il Mar Rosso, ma oggi identificabile anche con i Laghi Amari, aree paludose nei pressi dell'attuale Suez, o con il Lago Sirbonico, area paludosa costiera a est di Porto Said; fig. 28) verso la "terra promessa" non ne sarebbero una diretta conseguenza. Infatti, solo diversi anni

dopo la riunificazione del paese, che aveva previsto la sconfitta e la cacciata degli Hyksos da parte di Ahmosis I (dopo la caduta di Avaris, che avvenne intorno al 1550 a.C., divenne il fondatore della XVIII dinastia), gli Ebrei (se li identifichiamo con gli abitanti della terra di Canaan) furono fatti schiavi da Tuthmosis III (uno dei faraoni della XVIII dinastia) e portati in Egitto.

Pur non esistendo prove archeologiche in merito, molti studiosi vedono in Ramsete II (che regnò dal 1279 al 1212 a.C.) il terzo sovrano della XIX dinastia che si oppose a Mosè nei fatti narrati nel Libro dell'Esodo. Ma questa è un'altra storia.

#### Testi citati e consultati

Balter M. (2006) - New Carbon Dates Support Revised History of Ancient Mediterranean. *Science*, 312: 508-509.

Blechschild G., Cita M.B., Mazzei R. & Salvatorini G. (1981) - Stratigraphy of the western Mediterranean and southern Calabrian Ridges, eastern Mediterranean. *Marine Micropaleontology*, 7: 101-134.

Bruins H.J., Mac Gillivray J.A., Synolakis C.E., Benjamini C., Keller J., Kisch H.J., Klugel A. & van der Plicht J. (2008) - Geoarchaeological tsunami deposits at Palaikastro (Crete) and the Late Minoan IA eruption of Santorini. *Journal of Archaeological Science*, 35 (1): 191-212.

Bruins H.J., van der Plicht J. & Mac Gillivray J.A. (2009) - The Minoan Santorini eruption and tsunami deposits in Palaikastro (Crete): dating by geology, archaeology, <sup>14</sup>C, and Egyptian chronology. *Radiocarbon*, 51 (2): 397-411.

Emiliani C. & Shackleton N.J. (1974) - The Brunhes Epoch: Isotopic paleotemperatures and geochronology. *Science*, 183: 511-513.

Finkelstein I. & Silberman N.A. (2001) - *The Bible Unearthed. Archaeology's New Vision of Ancient Israel*. The Free Press/Simon & Schuster, London (ed. it.: *Le tracce di Mosè. La Bibbia tra storia e mito*. Carocci, Roma 2002).

Friedrich W.L., Kromer B., Friedrich M., Heinemeier J., Pfeiffer T. & Talamo S. (2006) - Santorini eruption radiocarbon dated to 1627-1600 B.C.. *Science*, 312: 548.

Grimal N. (1988) - *Histoire de l'Égypte ancienne*. Fayard, Paris (tr. it.: *Storia dell'antico Egitto*. Laterza, Roma-Bari 1990).

Keller J., Ryan W.B.F., Ninkovich D. & Altherr R. (1978) - Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200,000 yr as recorded in deep-sea sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 89: 593-604.

LaMoreaux P.E. (1995) - Worldwide environmental impacts from the eruption of Thera. *Environmental Geology*, 26 (3): 172-181.

Luce J.V. (1969) - *The End of Atlantis. New Lights on an Old Legend*. Thames & Hudson, London (ed. it.: *La fine di Atlantide*. Newton Compton, Roma 1976).

Mac Gillivray J.A., Sackett L.H., Driessen J. & Smyth D.

(1991) - Excavation at Palaikastro 1990. *The Annual of the British School of Archaeology at Athens*, 86: 47-121.

Mac Gillivray J.A., Sackett L.H., Driessen J., Farnoux A. & Smyth D. (1992) - Excavation at Palaikastro 1991. *Annual of the British School of Archaeology at Athens*, 87: 52-121.

Mac Gillivray J.A., Sackett L.H., Driessen J. & Hemingway S. (1998) - Excavation at Palaikastro 1994 and 1996. *Annual of the British School of Archaeology at Athens*, 93: 68-221.

Manning S.W. (1999) - *A Test of Time-The Volcano of Thera and the Chronology and History of the Aegean and East Mediterranean in the Mid Second Millennium B.C.* Oxford, Oxbow Books.

Manning S.W., Ramsey C.B., Kutschera W., Higham T., Kromer B., Steier P. & Wild E.M. (2006) - Chronology for the Aegean Late Bronze Age 1700-1400 B.C. *Science*, 312: 565-569.

Marinatos S. (1939) - The Volcanic Destruction of Minoan Crete. *Antiquity*, 13: 425-439.

Pareschi M.T., Favalli M. & Boschi E. (2006) - Impact of the Minoan tsunamis of Santorini: Simulated scenarios in the eastern Mediterranean. *Geophysical Research Letters*, 33 (18).

Phillips G. (2002) - *The Moses Legacy*. Sidgwick & Jackson, London (ed. it.: *Mosè*. Sperling & Kupfer, Milano 2002).

Redattori delle Edizioni Time-Life (a cura di) (1982) - *Volcano*. Time-Life Books Inc. (tr. it. *I vulcani*, Mondadori, Milano 1984).

Sacra Bibbia - Traduzione dai testi originali di Nardoni F., Robaldo G., Castoldi G. & Pasquero F. Edizioni Paoline, Roma 1970.

Thunell R.C., Williams D.F. & Kennett J. (1977) - Late Quaternary paleoclimatology, stratigraphy and sapropel history in eastern Mediterranean deep-sea sediments. *Marine Micropaleontology*, 2: 371-388.

Vergnaud-Grazzini C., Ryan W.B.F. & Cita M.B. (1977) - Stable isotopic fractionation, climate change and episodic stagnation in the eastern Mediterranean during the Late Quaternary. *Marine Micropaleontology*, 2: 353-370.

Warren P. & Hankey V. (1989) - *Aegean Bronze Age Chronology*. Bristol Classical, Bristol.

Watkins N.D., Sparks R.S.J., Sigurdsson H., Huang T.C., Federman A., Carey S. & Ninkovich D. (1978) - Volume and extent of the Minoan tephra from Santorini volcano: new evidence from deep-sea sediment cores. *Nature*, 271: 122-126.

# Orizzonti

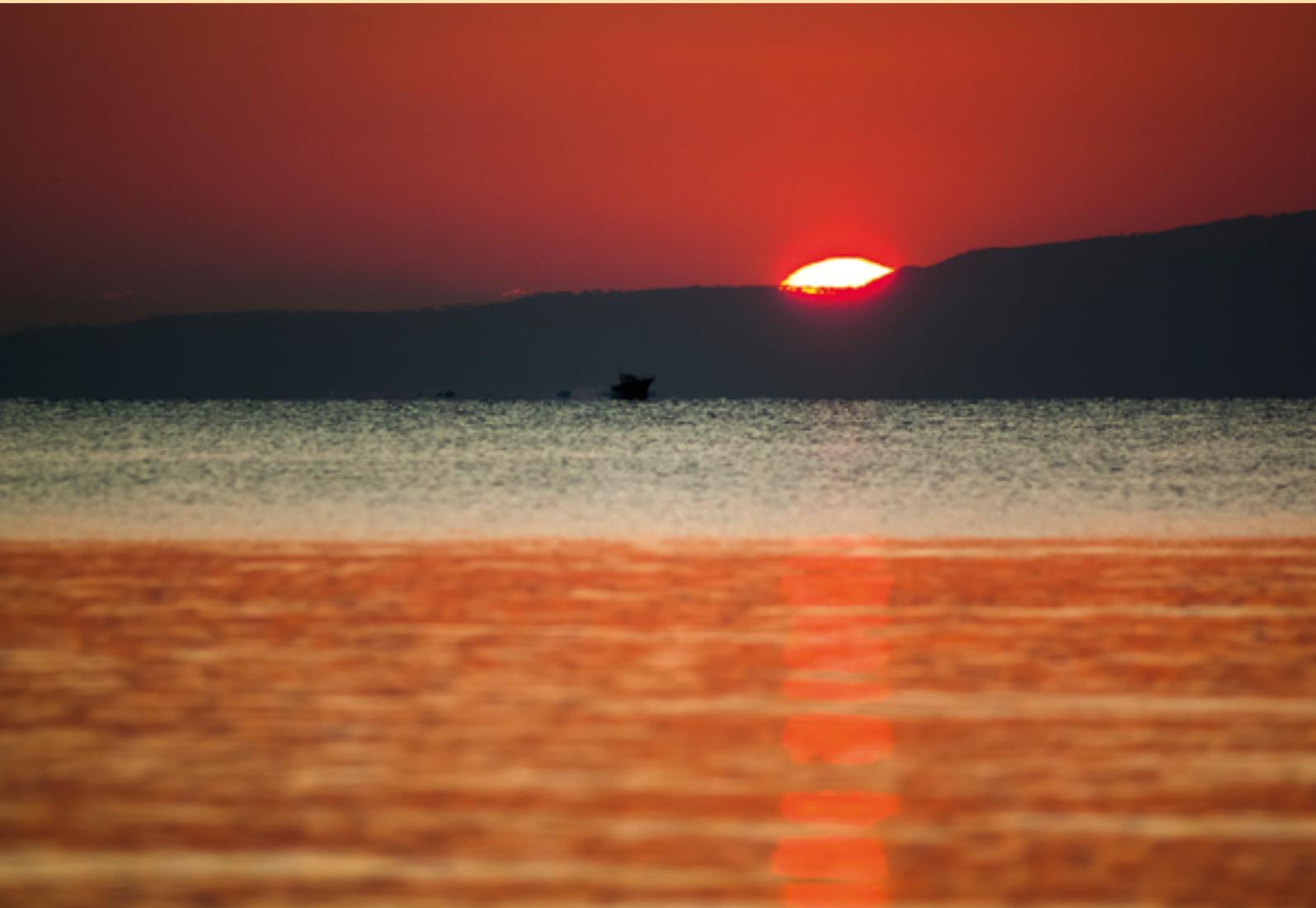


Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

# Il programma TUNU per lo studio degli ecosistemi euro-artici a fronte degli impatti antropici e dei cambiamenti globali

Simonetta Corsolini<sup>1</sup>, Jørgen S. Christiansen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, via P.A. Mattioli 41, 53100 Siena; simonetta.corsolini@unisi.it

<sup>2</sup> Department of Arctic and Marine Biology, UiT-The Arctic University of Norway, NO-9037, Tromsø, Norway; jorgen.s.christiansen@uit.no

## Introduzione

Lo studio degli organismi artici rappresenta un capitolo chiave sia per la conoscenza e la tutela dell'area planetaria da essi popolata, sia per la comprensione degli equilibri globali cui è soggetta, in maniera più o meno diretta, la vita dell'umanità. Più in particolare, riveste oggi grande importanza la comprensione dello stato di salute, della vulnerabilità e del potenziale commerciale delle specie ittiche adattate alle estreme condizioni di vita dei mari artici (Christiansen, 2012). Attualmente, infatti, all'impatto delle attività umane, che stanno aumentando rapidamente anche in aree dell'Oceano Artico rimaste finora incontaminate, si sommano gli effetti di un indiscutibile e tuttora in corso ritiro dei ghiacci (Comiso *et al.*, 2008). Le nuove rotte di navigazione legate alle più recenti attività di sfruttamento delle riserve petrolifere e della pesca commerciale sono e saranno responsabili di ulteriore inquinamento acustico, chimico e biologico (derivante, ad esempio, dagli organismi trasportati con le acque di sentina o di zavorra delle navi: Cohen, 1998). Un'altra attività preoccupante è infine rappresentata dalla bioprospezione marina, la quale mira ad estrarre da organismi artici composti commercialmente preziosi (per esempio olio di fegato o krill per la produzione di integratori alimentari).

La combinazione di queste e altre attività umane, cui devono aggiungersi le conseguenze dei cambiamenti climatici globali (Agustí *et al.*, 2010), non può non incidere sugli ecosistemi

marini artici, sebbene sia difficile prevederne e conoscerne l'entità. Specie particolarmente sensibili e vulnerabili possono soffrire di tali cambiamenti e impatti antropici, esponendosi così al rischio di estinguersi addirittura prima ancora di essere conosciute. La pesca nell'Artico, infatti, colpisce indiscriminatamente sia specie ittiche già compromesse che si sono spinte o rifugiate a nord del loro normale areale di distribuzione, sia specie native non intenzionalmente ricercate per il 97% delle quali non si hanno sufficienti conoscenze, a tal punto da rientrare nella categoria "carenti di dati" (*data deficient*, DD) della Lista Rossa delle specie a rischio (*Red List of the International Union for Conservation of Nature*, IUCN; [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)).

## Il programma TUNU: struttura e funzioni

È appunto allo scopo di ampliare le nostre conoscenze sulla la biodiversità, le popolazioni e le comunità ittiche dei mari artici, che il 3 ottobre 2002 è stato varato il programma TUNU, coordinato dall'Università di Tromsø (Norvegia) e formalmente appoggiato qualche anno dopo, il 25 maggio 2006, dall'*International Polar Year* (IPY, ID 318). Il termine TUNU, nella lingua groenlandese moderna, ha significato sia geografico (riferito alla Groenlandia Orientale) che anatomico (riferito alla schiena o spina dorsale); in ogni caso, il programma adotta entrambi i significati (Christiansen, 2012) in quanto vuole alludere al



1. Gruppo di ricercatori a bordo della nave norvegese *Helmer Hanssen* (Longyearbyen, Spitzbergen Island, Svalbard Archipelago, 17 agosto 2013). (Foto Henrik Schurmann, [www.henrikschurmann.dk/dk.aspx](http://www.henrikschurmann.dk/dk.aspx))

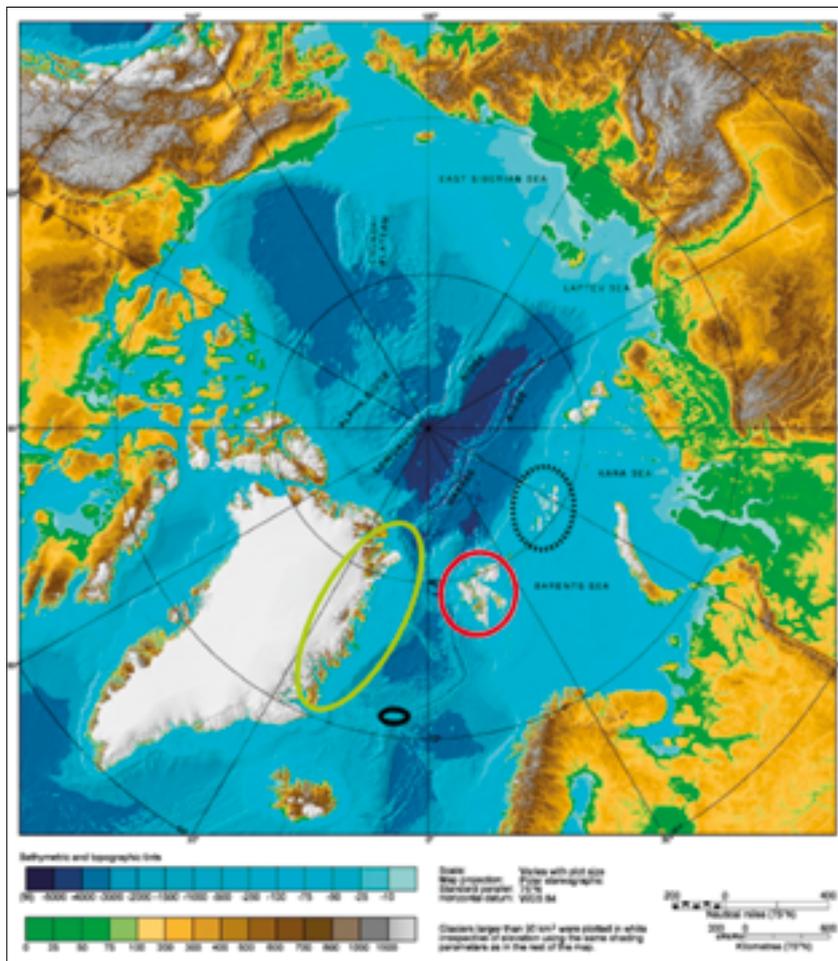
fatto che le attività di ricerca ebbero inizio nella Groenlandia nord-orientale, con l'ambizione però di rappresentare la colonna vertebrale per lo studio dei pesci marini in tutta l'area Euro-Artica. Fino ad oggi hanno partecipato al programma più di quaranta scienziati e studenti di dieci nazioni: Danimarca, Finlandia, Francia, Groenlandia, Islanda, Italia, Norvegia, Russia, Regno Unito e Stati Uniti d'America (fig. 1).

Sebbene le attività di ricerca del progetto siano rivolte essenzialmente alla conoscenza della struttura genetica e demografica, degli adattamenti fisiologici e delle interazioni trofiche dei pesci artici (nel progetto sono definiti tali i pesci – circa sessanta-settanta specie finora note: Mecklenburg *et al.*, 2011 – che compiono l'intero loro ciclo vitale in mari ghiacciati), pure da esso non vengono esclusi né lo studio delle comunità bentoniche e planctoniche, né la fisiologia dei mammiferi pinnipedi. TUNU, insomma, intende

sviluppare indagini in molti settori della ricerca (biologico in senso lato, fisiologico, ecologico, ecotossicologico eccetera), nella consapevolezza che soltanto dalla loro integrazione potrà essere data risposta a interrogativi più generali circa l'evoluzione degli ecosistemi artici nel contesto dei cambiamenti globali e del crescente impatto antropico.

#### L'AREA DI STUDIO

Esistono più definizioni di Artico marino. Una di queste include tutti i mari situati a nord del Circolo Polare Artico (66°30'N), che nei continenti corrisponde più o meno al limite della vegetazione arborea e contrassegna un limite di temperatura estiva perennemente inferiore ai 10°C. Altre si riferiscono all'area geografica frequentata dalla fauna ittica il cui ciclo vitale si svolge interamente in acque dalla superficie congelata (Mecklenburg *et al.*, 2011). Va comunque



2. L'Artico e le aree di studio del programma TUNU: Groenlandia Nord Orientale (TUNU-MAFIG, in verde), Jan Mayen Island (in nero), Svalbard Archipelago (in rosso). L'Arcipelago Franz Joseph Land è incluso come sito di riferimento (tratteggiato). Le frecce indicano le maggiori correnti superficiali: artica in blu e atlantica in rosso (la mappa è reperibile alla pagina web [www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/IBCAO\\_betamap.jpg](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/IBCAO_betamap.jpg)).

riconosciuto che i confini geografici, a causa della loro staticità, presentano limitato significato ecologico e non tengono conto di fattori quale, ad esempio, il decremento in corso del rapporto tra ghiaccio marino perenne e annuale (Walsh, 2008). Nel contesto del programma TUNU, l'area marina euro-artica risulta circoscritta alle acque dei fiordi e a quelle con profondità minore di 1.500 m, associate alla massima estensione (nel mese di marzo) della copertura di ghiaccio.

L'area marina interessata dal programma TUNU era inizialmente limitata a quella dei fiordi della Groenlandia nord-orientale (TUNU-MAFIG). Di recente, comunque, essa è stata ampliata ed attualmente include, da ovest a est: la Groenlandia nord-orientale (acque artiche), l'isola Jan Mayen (acque atlantiche e artiche), l'arcipelago delle Svalbard (acque atlantiche e artiche)

e, quando possibile, l'arcipelago Franz Joseph Land (acque artiche) (fig. 2). Tutte queste aree sono ideali per gli studi di biologia comparativa: hanno un simile fotoperiodo, dovuto alla più o meno medesima latitudine, ma sono caratterizzate da masse d'acqua e condizioni termiche differenti. Molte delle acque euro-artiche sono Aree Marine Protette (AMP) che richiedono speciali permessi per l'accesso, rilasciati dalle autorità competenti in Groenlandia, Russia e Norvegia. Gran parte degli studi relativi al programma TUNU sono stati condotti all'interno del Parco Nazionale della Groenlandia Nord-Orientale, che è il più esteso del mondo (972.000 km<sup>2</sup>).

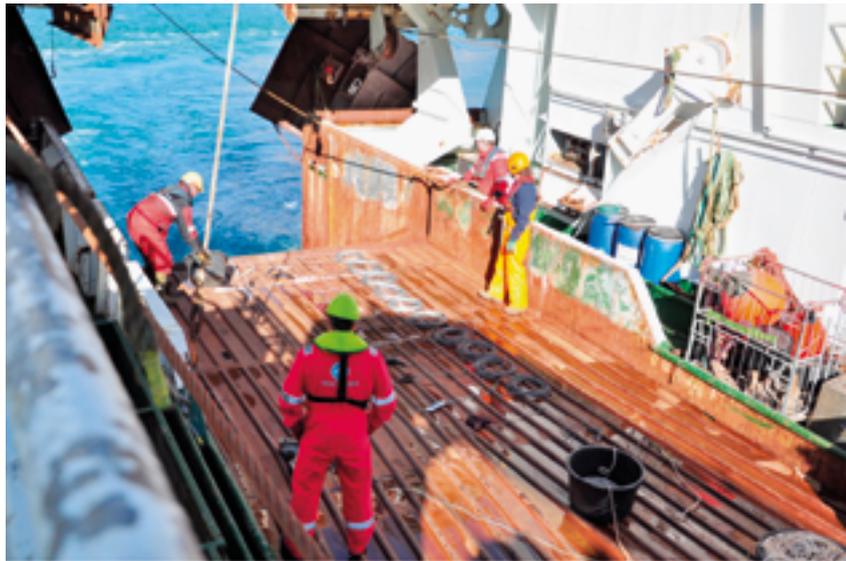
#### LE SPEDIZIONI TUNU

La logistica del programma TUNU prevede regolari spedizioni a bordo della nave da ricerca



3. La nave da ricerca *Helmer Hanssen* di fronte a Elle Ø, un'isola alla bocca del Kempe Fjord (72°51'N, 25°00'W), ramo interno del Kong Oscar Fjord. (Foto Simonetta Corsolini, 11 agosto 2010)

4. Palangaro con esche per la pesca dello squalo della Groenlandia.



norvegese *Helmer Hanssen* (fig. 3), dell'Università di Tromsø. A tutt'oggi sono state condotte con successo otto spedizioni: autunno 2002 (PRE-TUNU), 2003 (TUNU-I), 2005 (TUNU-II), 2007 (TUNU-III), 2008 (TUNU-Seal), 2010 (TUNU-IV), 2013 (TUNU-V). Nel corso di tali spedizioni sono stati raccolti campioni e dati biologici e idro-geografici in stazioni e lungo transetti, mentre a bordo venivano svolti seminari per gli studenti del dottorato di ricerca ARCTOS promosso dalla suddetta università.

#### LE STAZIONI E I METODI DI CAMPIONAMENTO

Ubicate in fiordi della Groenlandia, le stazioni di campionamento della spedizione TUNU-V (agosto 2013) includevano aree della piattaforma e della scarpata continentali fino a 1500 m di profondità. Molte di esse, concepite per studi a lungo termine, erano le medesime già visitate in spedizioni precedenti. Tutte quante, in ogni caso, forniscono dati quantitativi e metadati relativi alle variazioni annuali della fauna ittica e dei concorrenti regimi idro-geografici.



5. Lingua di ghiacciaio che dal *plateau* raggiunge il mare nel Tyroler Fjord. Durante l'estate si osservano numerose cascate originate dallo scioglimento dei ghiacciai. (Foto Simonetta Corsolini, 13 agosto 2013)

Per mezzo dell'eco-scandaglio e di sonde CDT vengono rilevati i valori di conduttività elettrica, profondità e temperatura delle acque, nonché i profili del fondo e la quantità e qualità di clorofilla. Quanto agli strumenti di pesca usati per le operazioni di campionamento, essi sono di vario tipo. Poiché i pesci artici sono soprattutto bentonici, la maggior parte delle operazioni di pesca è effettuata tramite una rete a strascico standard (Camplene Super 1800/96 NOFI). La pesca dello Squalo di Groenlandia (*Somniosus microcephalus* Bloch & Schneider, 1801) è invece effettuata mediante palamito o palangaro mantenuto in posizione per sei-dodici ore, con esche consistenti generalmente in calamari, pezzi di carne o altro (fig. 4).

Dopo essere stati identificati, pesati e conteggiati, i pesci sono distribuiti ai differenti ricercatori per soddisfare le loro esigenze di studio. Gli esemplari migliori sono etichettati, fotografati e conservati interi per la collezione del museo TUNU (TMC). Quando sia necessario per alcu-

ni specifici obiettivi d'indagine (concernenti, ad esempio, la genetica o la biochimica delle proteine), i pesci sono mantenuti a bordo vivi entro vasche dotate di ricambio continuo di acqua marina corrente. Quanto agli squali, gli esemplari ancora vivi vengono rilasciati previa applicazione su di essi di una trasmittente satellitare per lo studio dei loro movimenti migratori. È interessante far notare che, durante il campionamento nel Tyrolen Fjord della campagna 2013 il previsto mantenimento in acquario di pesci vivi (fig. 5) non è stato possibile. Ciò in conseguenza del fatto che nel fiordo l'acqua risultava dolce fino a 5 m di profondità, per cui le pompe avrebbero risucchiato e immesso negli acquari stessi acqua dolce anziché marina. Tale fenomeno è stato messo in relazione allo scioglimento dei ghiacciai che sfociano in questo fiordo (fig. 6).

Nel corso delle spedizioni TUNU sono altresì effettuate regolari operazioni di osservazione, identificazione e censimento sia di uccelli sia di mammiferi marini.



6. Rhedin Fjord. La diversa colorazione delle acque evidenzia la presenza di materiale in sospensione trasportato dai ghiacciai e riversato in mare durante il loro scioglimento estivo. (Foto Simonetta Corsolini, 9 agosto 2013)

#### GLI OBIETTIVI SCIENTIFICI

Per molto tempo si è creduto che la fauna marina artica avesse avuto origine soltanto due-tre milioni di anni fa, al contrario di quella antartica che risultava evolutasi in condizioni ambientali estreme durante gli ultimi 10-17 milioni di anni (DeVries & Steffensen, 2005; Patarnello *et al.*, 2011); se non che, un recente studio analitico dei sedimenti marini artici (Krylov *et al.*, 2008) porta a far risalire la formazione dell'attuale circolazione dell'oceano Artico a non meno di 17 milioni di anni fa e il costituirsi di una copertura di ghiaccio perenne a non meno di 13 milioni di anni fa. Il fatto che il raffreddamento della regione artica sembri essere coevo a quello della regione antartica non incide molto sulla comprensione dell'evoluzione dei pesci abitatori delle due regioni polari, in quanto queste differiscono significativamente l'una dall'altra per storia evolutiva, grado di isolamento geografico e stabilità ambientale; ciò non toglie, comunque, che i confronti rimangano fondamentali: tant'è che numerosi tra i partecipanti al programma TUNU studiano entrambe le regioni polari. Le principali linee di ricerca del programma interessano la tassonomia, la distribuzione, la di-

versità, l'ecologia funzionale, gli adattamenti termici, l'evoluzione e l'ecotossicologia dei pesci artici.

#### L'indagine ecotossicologica

Per l'indagine ecotossicologica, sono studiati negli organismi catturati il potenziale tossico, la distribuzione nei tessuti e i processi di biomagnificazione (cioè di bioaccumulo, implicante un aumento progressivo di concentrazione dal basso verso l'alto della piramide alimentare) dei contaminanti organici persistenti (Persistent Organic Pollutants, POPs). Poiché i mari e le terre artiche sono geograficamente confinanti con le aree più popolate e industrializzate dell'emisfero settentrionale, vi è in essi particolarmente elevato l'ingresso di POPs tramite trasporto a lungo raggio (LRT) da parte delle masse d'aria, dei fiumi e delle correnti marine. L'Artide, infatti, nonostante il suo clima estremo, subisce da sempre l'impatto delle attività umane per la sua ricchezza tanto in risorse – di carattere sia abiologico (estrazioni di minerali) che biologico (attività di pesca) – quanto in infrastrutture militari legate al suo ruolo geopolitico.

I POPs studiati sono quelli emergenti e tradizionali presi in considerazione dalla Convenzione di Stoccolma (<http://chm.pops.int>), quali policlorobifenili (PCB), pesticidi clorurati (DDT e suoi isomeri e metaboliti), esaclorocicloesano (HCH, isomeri alfa-, beta-, gamma-, delta-), policlorodibenzodiossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF), difenileteri polibromurati (PBDE) e composti alchilici perfluorati (PFAS). Sono altresì di interesse, per uno studio preliminare, alcuni contaminanti emergenti quali pesticidi di uso corrente (CUP) prodotti per la cura della persona e per fini farmaceutici (PPCP). Quanto al rischio potenziale dovuto alla contaminazione da composti diossino-simili (DLC), esso è valutato mediante il metodo dei Fattori di Equivalenza Tossica (TEF) (Safe, 1990; per i metodi strumentali e di preparazione del campione vedere Corsolini et al., 2006, 2007, 2008).

Lo studio dello Squalo della Groenlandia, predatore molto longevo e quindi suscettibile di accumulare contaminanti per lungo tempo, riveste un'importanza particolare. Potendo questo pesce raggiungere i 7 m di lunghezza e i 1000 kg di peso ed essendo molto basso il suo tasso di accrescimento (meno di 1 cm/anno, secondo Fisk et al., 2002), si stima che gli individui più grandi abbiano molto più di cento anni. La maturità sessuale sembra venga raggiunta nei maschi quando la loro lunghezza corporea supera i 260 cm (McNeil et al., 2012) e nelle femmine quando raggiunge i 217-295 cm (Beck & Mansfield, 1969). L'animale è considerato un opportunista alimentare e uno "spazzino" che si ciba di una grande varietà di organismi, come invertebrati bentonici, pesci, foche, resti di orso polare e cetacei (Bigelow & Schroeder, 1948; Ridoux et al., 1998; Yang & Page, 1999; Fisk et al., 2002; Yano et al., 2007; McMeans et al., 2010; Nielsen et al., 2013; Leclerc et al., 2011). Poiché ancora oggi si ha scarsa conoscenza della biologia, ecologia e demografia dello Squalo della Groenlandia, i meccanismi di bioaccumulo in questo pesce vengono studiati nel contesto della sua rete trofica, per cui sono raccolti e analizzati i contenuti stomacali degli individui sacrificati. D'altra parte, pur con la sua

dieta a base opportunistica di prede dai differenti livelli trofici, questo pesce è considerato un predatore apicale dell'intera rete alimentare, ponendosi quindi per via della biomagnificazione a un elevato livello di rischio. Nel 2011, la specie è stata perciò inserita come near threatened nella Red List dell'International Union for Conservation of Nature (IUCN) (Kyne et al., 2006).

Se si considera che la Groenlandia nord-orientale è una area vastissima e priva di insediamenti umani, già dai risultati preliminari finora ottenuti è possibile concludere che nei tessuti dello Squalo della Groenlandia vi sono livelli di POPs abbastanza elevati. Nel suo tessuto muscolare bianco, infatti, le concentrazioni di alcuni POPs erano pari a: 29-106 ng/g (nanogrammi per grammo o parti per miliardo) di peso fresco di policlorobifenili, 0,06-2,7 ng/g di difenileteri polibromurati e 6,04 pg/g (picogrammi per grammo o parti per trilione) di peso fresco di TEQ (concentrazione dei composti diossino-simili espressi in tossici equivalenti della diossina). La distribuzione dei POPs nei vari tessuti analizzati seguiva un andamento abbastanza simile. Non è stata evidenziata una relazione tra la lunghezza corporea e la concentrazione dei POPs. Questo risultato, da confermare, potrebbe dipendere da una serie di fattori. Non si conosce esattamente il tasso di alimentazione, per cui si potrebbe supporre un ruolo del lento accrescimento nella "diluizione" dei contaminanti rispetto al volume corporeo, fenomeno già osservato in organismi antartici, che vivono quindi in aree poco contaminate (Corsolini & Focardi, 2000). Gli squali potrebbero avere sistemi enzimatici in grado di eliminare alcuni contaminanti a livello epatico; un'altra via di eliminazione potrebbe essere la respirazione branchiale: nei pesci, infatti, la sottile membrana branchiale, che filtra l'acqua per la respirazione, così come permette l'ingresso dei POPs nell'organismo, allo stesso modo potrebbe anche permetterne l'eliminazione durante la respirazione (Bacci, 1994). Infine, gli squali di grandi dimensioni potrebbero eliminare parte dei contaminanti mediante la gametogenesi, fenomeno già riportato per altre specie di pesci, come

per esempio il Tonno (Corsolini et al., 2007); la formazione dei gameti, soprattutto femminili, è un processo altamente dispendioso dal punto di vista energetico e gli organismi mobilitano le proprie riserve lipidiche da cui traggono l'energia necessaria. Essendo i POPs affini ai lipidi e a questi legati, possono venire incorporati nelle uova, con conseguente passaggio dei contaminanti alla prole e contemporanea eliminazione dai tessuti della madre. Tutte queste considerazioni devono essere confermate da ulteriori indagini.

Studi condotti sia sulla dieta (Yano et al., 2007; Nielsen et al., 2013; Leclerc et al., 2011) mediante l'analisi del contenuto stomacale e degli isotopi stabili di carbonio e azoto per la valutazione del livello trofico (Fisk et al., 2002), sia sulla contaminazione suggeriscono per lo Squalo della Groenlandia una grande variabilità nel bioaccumulo di POPs nei suoi tessuti che potrebbe essere dovuta all'opportunità alimentare e alla longevità. Gli squali catturati lungo le coste della Groenlandia Orientale, ad esempio, si cibano preferibilmente di pesci, mammiferi marini e molluschi cefalopodi con variazioni stagionali (Nielsen et al., 2013) e ciò potrebbe influenzare il bioaccumulo.

### **La collezione del museo TUNU**

Poiché le collezioni storico-naturali contengono informazioni fondamentali per ricostruire serie storiche di dati a lungo termine (Harrison et al., 2011; Lister et al., 2011), gli esemplari migliori catturati durante le spedizioni TUNU vanno sistematicamente a far parte della collezione

del museo TUNU (TMC, c/o Curatore Senior I. Byrkjedal), ubicata presso il norvegese museo di Bergen. A tutt'oggi il TMC conserva circa 650 esemplari assegnati a 47 specie, i tessuti delle quali sono fissati in etanolo per essere messi a disposizione della ricerca genetica.

### **I pesci della Groenlandia nord-orientale**

Nella loro grande maggioranza, i pesci della Groenlandia nord-orientale vivono e si riproducono in prossimità del fondale marino (specie bentoniche o bento-pelagiche: Christiansen et al., 1998), il che li rende particolarmente vulnerabili sia alle attività di pesca che ad altri impatti antropici. Le spedizioni TUNU condotte nei fiordi di quest'area durante il periodo 2002-2010 hanno consentito di identificare tre specie di pesci cartilaginei appartenenti a tre diverse famiglie e 44 specie di pesci ossei appartenenti a 14 famiglie (Christiansen, 2012). Più dell'85% delle specie hanno, come si è detto, abitudini bentoniche e solo due sono considerate crio-pelagiche sensu Andriashev (1970), in quanto si cibano di specie viventi nell'interfaccia acqua-ghiaccio, dove trovano anche rifugio e substrato per la riproduzione (Christiansen, 2012). Il 60% di queste specie si riproduce solo a temperature inferiori a 0°C ed è considerato artico; l'11%, invece, si riproduce solo a temperature superiori a 0°C ed è considerato boreale (Mecklenburg et al., 2011). Alla luce degli attuali cambiamenti climatici globali, si prevede che il numero e la proporzione delle specie pelagiche e boreali vada a incrementarsi.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano tutti i componenti del programma TUNU, i membri dell'equipaggio della R/V *Helmer Hansen* e Henrik Schurmann per l'importante contributo nel documentare le attività a bordo. S.C. ringrazia J.S.C. per la collaborazione nella stesura di questo articolo, tratto in parte da un libro pubblicato in lingua inglese (si veda rif. Christiansen, 2012); inoltre ringrazia Guido Di Prisco (CNR-IBP, Napoli) per aver creduto nel ruolo del gruppo di ricerca dell'ateneo senese all'interno del programma TUNU.

## Testi citati

- Agusti S., Sejr M.K. & Duarte C.M. (2010) - Impacts of climate warming on polar marine and freshwater ecosystems. *Polar Biol.*, 33: 1595-1598.
- Andriashev A.P. (1970) - Cryopelagic fishes of the Arctic and Antarctic and their significance in polar ecosystems. In: *Antarctic ecology* (Holdgate M.W., ed.), 297-304. Academic, New York.
- Bacci E. (1994) - *Ecotoxicology of organic contaminants*. Lewis Publ., Boca Raton, Florida, pp. 164.
- Beck B. & Mansfield A.W. (1969) - Observations on the Greenland sharks, *Somniosus microcephalus*, in northern Baffin Island. *J. Fish Board Can.*, 26: 143-145.
- Bigelow H.B. & Schroeder W.C. (1948) - Sharks. In: *Fishes of the Western North Atlantic. Part I. Lancelets, Cyclostomes, Sharks* (TeeVan J., Breder C.M., Hildebrand S.F., Parr A.E. & Schroeder W.C., eds.), 514-526. Mem. Sears Found. Mar. Res., New Haven.
- Christiansen J.S., Fevolden S.-E., Karamushko O.V. & Karamushko L.I. (1998) - Maternal output in polar fish reproduction. In: *Fishes of Antarctica, a biological overview* (Di Prisco G., Pisano E. & Clarke A., eds.), 41-52. Springer, New York.
- Christiansen J.S. (2012) - The TUNU-Programme: Euro-Arctic Marine Fishes-Diversity and Adaptation. In: *Adaptation and Evolution in Marine Environments. Vol. 1, From Pole to Pole* (Di Prisco G. & Verde C., eds.), 35-50. DOI: 10.1007/978-3-642-27352-0\_3. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Corsolini S. & Focardi S. (2000) - Bioconcentration of Polychlorinated Biphenyls in the Pelagic Food Chain of the Ross Sea. In: *Ross Sea Ecology* (Faranda F., Guglielmo L. & Ianora A., eds.), 575-584. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Corsolini S., Borghesi N., Schiavone A. & Focardi S. (2006) - Polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated dibenzo-dioxins, -furans, and -biphenyls in three species of Antarctic penguins. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 14: 421-429.
- Corsolini S., Sarà G., Borghesi N. & Focardi S. (2007) - HCB, *p,p'*-DDE and PCB Ontogenetic Transfer and Magnification in Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) from the Mediterranean Sea. *Environ. Sci. Technol.*, 41(12): 4227-4233.
- Corsolini S., Guerranti C., Perra G. & Focardi S. (2008) - Polybrominated Diphenyl Ethers, Perfluorinated Compounds and Chlorinated Pesticides in Swordfish (*Xiphias gladius*) from the Mediterranean Sea. *Environ. Sci. Technol.*, 42(12): 4344-4349.
- Cohen A.N. (1998) - Ships' Ballast Water and the Introduction of Exotic Organisms into the San Francisco Estuary. Current Status of the Problem and Options for Management. A report for the CALFED Category III Steering Committee administered by the California Urban Water Agencies. Available at [www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/tmdl/docs/303d\\_polidocs/178.pdf](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/docs/303d_polidocs/178.pdf) (January 2, 2014).
- Comiso J.C., Parkinson C.L., Gersten R. & Stock L. (2008) - Accelerated decline in the Arctic sea ice cover. *Geophys Res Lett.* doi:10.1029/2007GL031972.
- DeVries A.L. & Steffensen J.F. (2005) - The Arctic and Antarctic polar marine environments. In: *The physiology of polar fishes* (Farrell A.P. & Steffensen J.F., eds), 1-24. Academic, New York.
- Fisk A.T., Tittlemier S., Pranschke J. & Norstrom R.J. (2002) - Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of Greenland shark. *Ecology*, 83: 2162-2172.
- Krylov A.A., Andreeva I.A., Vogt C., Backman J., Krupskaya V.V., Grikurov G.E., Moran K. & Shoji H. (2008) - A shift in heavy and clay mineral provenance indicates a middle Miocene onset of a perennial sea ice cover in the Arctic Ocean. *Paleoceanography* 23: PA1S06. doi: 10.1029/2007/PA001497.
- Kyne P.M., Sherrill-Mix S.A. & Burgess G.H. (2006) - *Somniosus microcephalus*. In: *IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2013.1. Available at [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), downloaded on 01 October 2013.
- Leclerc L.M., Lydersen C., Haug T., Glover K.A., Fisk A.T. & Kovacs K.M. (2011) - Greenland sharks (*Somniosus microcephalus*) scavenge offal from minke (*Balaenoptera acutorostrata*) whaling operations in Svalbard (Norway). *Polar Res.*, 30: 7342. doi:10.3402/polar.v30i0.7342.
- Mecklenburg C.W., Møller P.R. & Steinke D. (2011) - Biodiversity of arctic marine fishes: taxonomy and zoogeography. *Mar. Biodiv.*, 41: 109-140.
- McMeans B.C., Svavarsson J., Dennard S. & Fisk A.T. (2010) - Diet and resource use among Greenland sharks (*Somniosus microcephalus*) and teleosts sampled in Icelandic waters, using  $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{15}N$  and mercury. *Canadian J. Fisheries Aquatic Sci.*, 67: 1428-1438.
- MacNeil M.A., McMeans B.C., Hussey N.E., Vecsei P., Svavarsson J., Kovacs K.M., Lydersen C., Treble M.A., Skomal G.B., Ramsey M. & Fisk A.T. (2012) - Biology of the Greenland shark *Somniosus microcephalus*. *J. Fish Biol.*, 80: 991-1018.
- Nielsen J., Hedeholm R.B., Simon M. & Steffensen J.F. (2013) - Distribution and feeding ecology of the Greenland shark (*Somniosus microcephalus*) in Greenland waters. *Polar Biol.*, 37(1): 37-46.
- Patarnello T., Verde C., Di Prisco G., Bargelloni L. & Zane L. (2011) - How will fish that evolved at constant sub-zero temperatures cope with global warming? Notothenioids as a case study. *Bioessays*, 33: 260-268.
- Ridoux V., Hall A.J., Steingrimsson, G. & Olafsson G. (1998) - An inadvertent homing experiment with a young ringed seal, *Phoca hispida*. *Mar. Mammal Sci.*, 14: 883-888.
- Safe S. (1990) - Polychlorinated biphenyls (PCBs), dibenzo-p-dioxins (PCDDs), dibenzofurans (PCDFs) and related compounds: environmental and mechanistic considerations which support the development of Toxic Equivalency Factors (TEFs). *CRC Crit. Rev. Toxicol.* 21: 51-88.
- Yang M. & Page B.N. (1999) - Diet of Pacific sleeper shark, *Somniosus pacificus*, in the Gulf of Alaska. *Fishery Bull.*, 97: 406-409.
- Yano K., Stevens J.D. & Compagno L.J.V. (2007) - Distribution, reproduction and feeding of the Greenland shark *Somniosus (Somniosus) microcephalus*, with notes on two other sleeper sharks, *Somniosus (Somniosus) pacificus* and *Somniosus (Somniosus) antarcticus*. *Journal of Fish Biology*, 70: 374-390.

# La parola all'immagine



Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

# L'uomo e il mare

*Giovanni Bencini*

viale Europa, comparto "I Pini" 42, 58022 Follonica (GR)

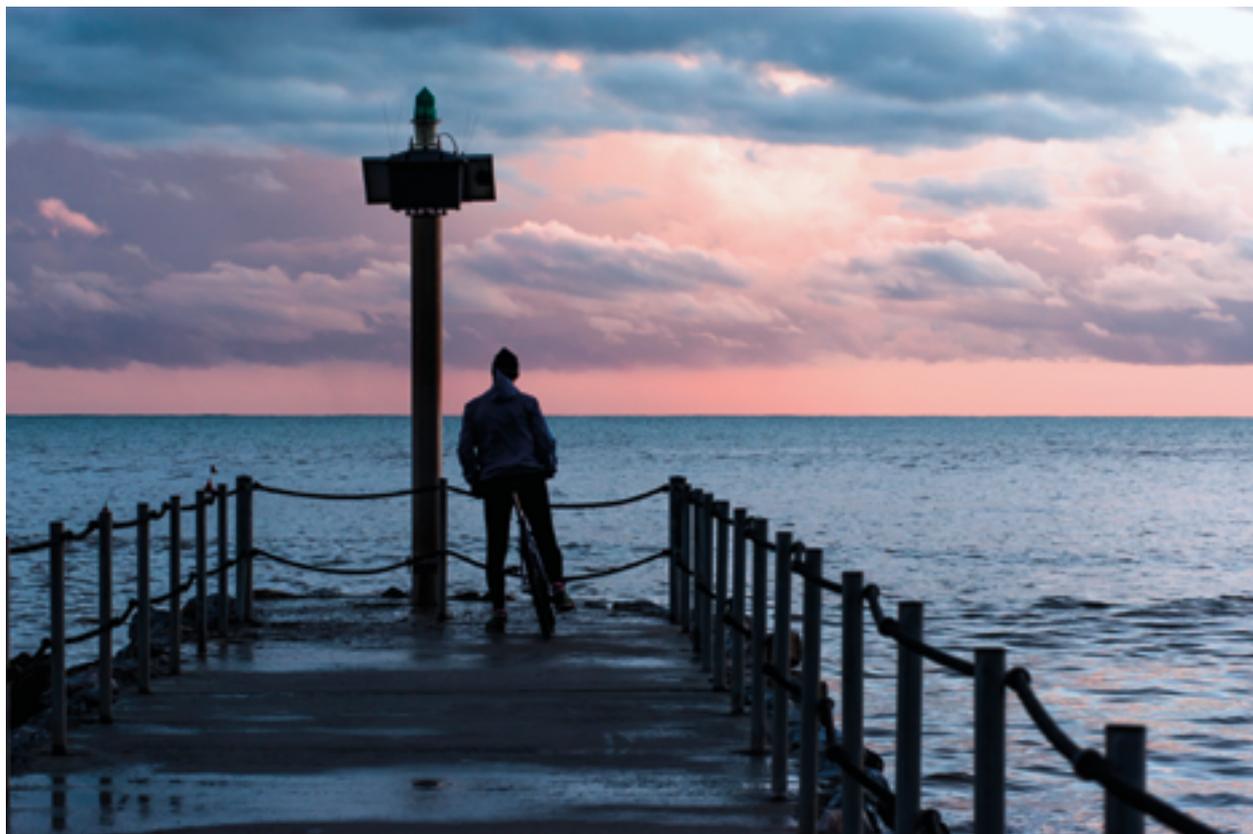
Homme libre, toujours tu chéris la mer! / La mer est ton miroir; tu contemples ton âme / Dans le déroulement infini de sa lame, / Et ton esprit n'est pas un gouffre moins amer. // Tu te plais à plonger au sein de ton image; / Tu l'embrasses des yeux et des bras, et ton cœur / Se distraît quelquefois de sa propre rumeur / Au bruit de cette plainte indomptable et sauvage. // Vous êtes tous les deux ténébreux et discrets: / Homme, nul n'a sondé le fond de tes abîmes; / O mer, nul ne connaît tes richesses intimes, / Tant vous êtes jaloux de garder vos secrets! // Et cependant voilà des siècles innombrables / Que vous vous combattez sans pitié ni remords, / Tellement vous aimez le carnage et la mort, / O lutteurs éternels, ô frères implacables!

Sempre il mare, uomo libero, amerai! / perché il mare è il tuo specchio; tu contempli / nell'infinito svolgersi dell'onda / l'anima tua, e un abisso è il tuo spirito / non meno amaro. Godi nel tuffarti / in seno alla tua immagine; l'abbracci / con gli occhi e con le braccia, e a volte il cuore / si distrae dal tuo suono al suon di questo / selvaggio ed indomabile lamento. / Discreti e tenebrosi ambedue siete: / uomo, nessuno ha mai sondato il fondo / dei tuoi abissi; nessuno ha conosciuto, / mare, le tue più intime ricchezze, / tanto gelosi siete d'ogni vostro / segreto. Ma da secoli infiniti / senza rimorso né pietà lottate / fra voi, talmente grande è il vostro amore / per la strage e la morte, o lottatori / eterni, o implacabili fratelli!

*Charles Baudelaire*















# Io, il lettore



Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

# Piante GM: occorrono meno pregiudizi e più ricerca scientifica

Riccardo Clemente

via Curtatone 51, 53036 Poggibonsi (SI); info@riccardoclemente.com

Per Organismi/Piante Geneticamente Modificati (OGM/PGM) si intendono organismi/piante il cui genoma è stato modificato dall'uomo mediante tecniche di ingegneria genetica. Più specificamente, tra gli OGM/PGM si distinguono quelli "cisgenici" (OGM<sub>cis</sub>/PGM<sub>cis</sub>) da quelli "transgenici" (OGM<sub>trs</sub>/PGM<sub>trs</sub>) a seconda che nel loro genoma siano stati inseriti geni di "donatori" appartenenti alla propria specie oppure a specie differenti (fig. 1). Non rientrano invece nell'ambito degli OGM queglii organismi, da sempre utilizzati dall'Uomo, che hanno subito nel loro genoma modifiche di tipo spontaneo (come nel caso di mutazioni dovute al batterio *Agrobacterium tumefaciens*) oppure indotto (come nel caso di mutazioni dovute a sostanze chimiche o a radiazioni ionizzanti).

## Un po' di storia dell'ingegneria genetica

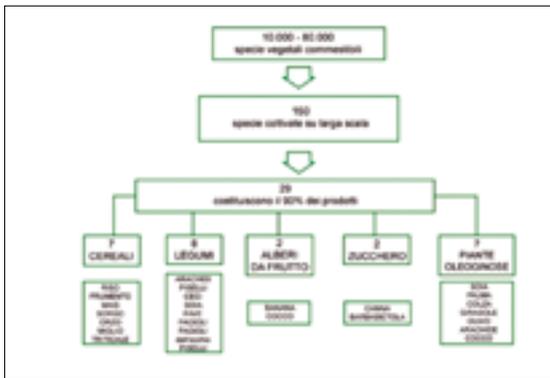
Dopo aver cercato per secoli di sopperire al suo crescente fabbisogno di cibo semplicemente disboscando e mettendo a coltura i terreni disboscati, l'uomo è riuscito a incrementare notevolmente le rese agricole, in termini sia quantitativi che qualitativi, soltanto con l'avvento del Novecento. Ciò è stato possibile grazie al diffondersi della meccanizzazione, all'impiego di concimazioni chimiche e di fitofarmaci, nonché all'introduzione di nuove varietà vegetali. Con il progressivo aumento delle popolazioni e l'insorgere di nuove esigenze si è poi sempre più proceduto alla selezione delle piante commestibili di produzione industriale, riducen-



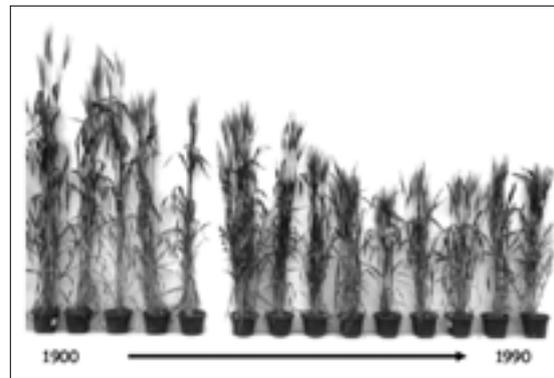
1. Ingegneria genetica applicata alle piante.

do drasticamente il numero delle varietà coltivate tra le ottantamila esistenti. Delle 150 specie di piante coltivate su larga scala, infatti, oggi si può dire che solo 25 costituiscano il 90% della produzione mondiale (fig. 2). Su tale ristretto gruppo di piante continua poi l'opera di miglioramento genetico da parte dell'uomo, con l'ottenimento di mutanti attraverso mezzi quali sostanze chimiche e raggi gamma. La lotta alla fame e la conseguente possibilità di sviluppo della popolazione mondiale risultano perciò strettamente legate alle nuove varietà ottenute (fig. 3).

La ricerca scientifica sugli OGM non è cominciata in agricoltura, bensì in campo farmaceutico. Sono rispettivamente del 1977 e del 1978, infatti, le prime produzioni commerciali di due proteine umane ricombinanti, la somatostatina e l'insulina, che hanno contribuito non poco a migliorare la qualità della vita di milioni di persone (tab. 1). Le applicazioni pratiche degli OGM si sono poi estese ai settori agricolo (batteri azoto fissatori, piante tolleranti a erbicidi, piante resistenti agli insetti o a stress idrici eccetera), agroalimentare



2. Le specie commestibili del nostro pianeta e quelle maggiormente coltivate.



3. Cambiamenti morfologici associati a progresso genetico in varietà di frumento duro rilasciate in Italia dal 1900 al 1990.

(enzimi per i processi di fermentazione, pomodori con maturazione rallentata, latte con maggiore contenuto in caseina, caffè a basso contenuto di caffeina eccetera) e industriale (batteri per degradare idrocarburi, materiali bioplastici, pioppi con tassi inferiori di lignina eccetera).

Malgrado i benefici forniti dagli OGM nel loro complesso, vi è spesso la tendenza a concentrare sulle PGM un'attenzione negativa: tant'è che in questi anni la ricerca italiana su tale categoria di piante ha subito un forte rallentamento, giungendo perfino a subire il divieto assoluto di svolgere attività sul territorio nazionale. A farne riprendere l'attività non sono serviti nemmeno i numerosi appelli del mondo scientifico, mentre quel poco di sperimentazione che è rimasto viene fortemente contrastato. A questo proposito si ricorda che nel giugno 2012 il Ministero dell'Agricoltura e quello dell'Ambiente hanno dato disposizione di distruggere i campi sperimentali dell'Università della Tuscia (Viterbo), dove dal 1998 venivano condotte ricerche su PGM di olivo, ciliegio e actinidia (kiwi). A motivare un intervento tanto urgente e drastico sarebbe stato il rischio di contaminazione genetica di varietà tradizionali coltivate nell'area circostante l'azienda universitaria. Di contro, coloro che hanno sollecitato l'intervento e che hanno attuato la distruzione, non hanno voluto tenere nella dovuta considerazione la non esistenza o scarsa probabilità del rischio di contaminazione, in quanto i ciliegi transgenici erano completamente sterili, gli olivi ancora giovani non erano mai fioriti, e dalle piante di acti-

nidia maschio venivano annualmente asportati i fiori alla presenza di ispettori (fig. 4).

Sempre nel 2012 si è assistito a un altro caso di eccessivo allarmismo, che ha portato alla sospensione in Francia delle semine di mais GM (Bt) 11 e MON 810. In febbraio il governo francese aveva chiesto alla Commissione di Bruxelles l'emissione di misure d'urgenza per la sospensione in tutta Europa della semina di questo mais. Tale richiesta si basava soprattutto su uno studio di Angelika Hilbeck nel quale si sostenevano effetti nocivi della tossina Cry1Ab del *Bacillus thuringiensis* (Bt), prodotta dal mais GM con finalità di pesticida e fino allora considerata innocua per i coleotteri, sulle larve della coccinella *Adalia bipunctata*, insetto importante nella lotta biologica contro gli afidi. Il 21 maggio dello stesso anno l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) ha respinto la richiesta francese in quanto basata su risultati scientificamente contestabili. Nella ricerca della Hilbeck, infatti, le larve della suddetta coccinella – che in condizioni naturali vive poco sul mais, essendone quindi poco a contatto con il polline – erano state sovralimentate con quest'ultimo fino a venirne, con ogni probabilità, affette da indigestione. Gli stessi problemi di indigestione da polline, d'altra parte, starebbero alla base dei risultati anche di un altro esperimento simile effettuato sulla farfalla Monarca (*Danaus plexippus*).

Portando questi esempi non si vuole sostenere che non esistano effetti negativi causati dalla coltivazione delle PGM: la contaminazione genetica è un fenomeno che esiste e che perciò deve essere

**Tab. 1. Principali caratteristiche modificate nelle PGM a livello sperimentale o già commercializzate**

Caratteristica modificata	Specie
Resistenza agli erbicidi	Bietola da zucchero, mais, colza, cotone, lino
Resistenza ad insetti/erbicidi	Mais
Resistenza agli insetti	Pomodoro, mais, patata, cotone
Resistenza ai virus	Zucca, papaia
Maschio sterilità	Mais
Oli modificati	Colza
Modifica della maturazione dei frutti	Pomodoro
Aumento della provitamina A	Riso
Arricchimento in Ferro	Riso
Incremento in Beta-carotene e Licopene	Pomodoro
Detossificazione di micotossine	Mais
Detossificazione di cianogeni	Cassava
Assenza di caffeina	Caffè
Arricchimento di vitamina E	Colza

opportunamente studiato per consentire la convivenza tra le coltivazioni GM e non, nel rispetto reciproco. Casi di impollinazione tra piante transgeniche e specie simili spontanee sono stati riscontrati anche a diversi chilometri di distanza. Lo scambio di materiale genetico, inoltre, può avvenire anche nel suolo a livello dell'apparato radicale. Va anche sottolineato, comunque, che le stesse aziende multinazionali produttrici di PGMtrrs resistenti a fitofagi obbligano a coltivare un 20% di piante "convenzionali" per creare "fasce tampone" limitanti l'insorgenza di generazioni di fitofagi resistenti.

Talvolta le battaglie condotte contro gli OGM sembrano basarsi su presupposti di carattere ideologico. Ai grandi gruppi multinazionali che ne detengono la produzione, infatti, non viene mai riconosciuta la capacità di prendersi cura della biodiversità e della salute dell'Uomo, ma soltanto la ricerca del profitto. In Italia, comunque, tra l'essere indecisi o addirittura contrari all'uso degli OGM e l'impedire la ricerca scientifica sugli stessi nell'ambito delle pubbliche università, un passo eccessivamente lungo: oltre a contribuire all'impoverimento del paese e a far fuggire i nostri migliori scienziati, infatti, si finisce per lasciare il campo libero alle multinazionali private, consentendo loro di produrre e vendere PGM in tutto il mondo e, attraverso la filiera agroalimen-

tare globale (farine zootecniche), far finire rispettivamente sulle nostre tavole e sulla nostra pelle i cibi ed i vestiti (cotone) che ne derivano.

### Uno sguardo alla produzione mondiale delle PGM

Dal 1996 fino a tutto il 2011 si è assistito a un *trend* positivo delle superfici dedicate alle PGM, che nell'insieme hanno raggiunto i 160 milioni di ettari (nel solo periodo 2010-2011 si è avuta una crescita dell'8%, equivalente a 12 milioni di ettari). La PGM dominante è la soia, che interessa una superficie di 75,4 milioni di ettari (il 47% della superficie totale), seguita dal mais con 51 milioni di ettari (il 32%), dal cotone con 24,7 milioni di ettari (il 15%) e dalla colza con 8,2 milioni di ettari (il 5%). Nel 2011 le PGM di soia, mais, colza, cotone, barbabietola da zucchero ed erba medica con i geni della tolleranza agli erbicidi hanno occupato il 59% della superficie biotech totale, pari a 93,9 milioni di ettari. Sempre nello stesso anno, il valore di mercato a livello mondiale delle sementi biotech è stato stimato in 13,2 miliardi di dollari.

In tutta la superficie del globo, le PGM vengono coltivate da 16,7 milioni di agricoltori (dato del 2011), di cui il 90% piccoli agricoltori residenti nei paesi in via di sviluppo, soprattutto nella



4. Distruzione dei campi sperimentali, Università della Tuscia di Viterbo.

Cina (7 milioni) e nell'India (7 milioni). In India, in particolare, lo sviluppo della coltivazione del cotone Bt (modificato cioè con geni del *Bacillus thuringiensis* per acquisire resistenza agli attacchi dei parassiti) ha avuto un incremento notevole passando, nel periodo 2002-2011, da una superficie di cinquantamila ettari a una di 10,6 milioni di ettari. I principali utilizzatori di questa coltura sono agricoltori operanti su una superficie media di 1,5 ettari.

Nel 2011 le PGM erano coltivate in 29 paesi nel mondo, dei quali 19 considerati in via di sviluppo e 10 industriali. Le popolazioni interessate da queste coltivazioni – quattro miliardi di persone – rappresentano il 60% della popolazione mondiale. I primi dieci stati coltivatori di PGM sono: gli USA con 69 milioni di ettari; il Brasile con 30,3; l'Argentina con 23,7; l'India con 10,6; il Canada con 10,4; la Cina con 3,9; il Paraguay con 2,8; il Pakistan con 2,6; il Sud Africa con 2,3; e l'Uruguay con 1,3. In Europa sono coltivati complessivamente 114.500 ettari di PGM, prevalentemente mais, nei seguenti paesi: Spagna, Portogallo, Repubblica Ceca, Polonia, Slovacchia, Romania, Svezia e Germania.

### **Principali dubbi sull'utilizzo delle PGM**

È ben noto che le PGM suscitano da anni un dibattito piuttosto acceso. I dubbi sul loro impiego che generalmente vengono presentati riguardano, da un lato la possibilità che possano essere dannosi per l'ambiente e per la salute umana, dall'altro che non solo non apportino vantaggi economici agli agricoltori, ma anzi li rendano dipendenti

delle multinazionali detentrici dei brevetti. Qui di seguito cercherò di trattare sul tema riprendendo ed ampliando quanto già espresso da Monastra (2004) su questa stessa rivista.

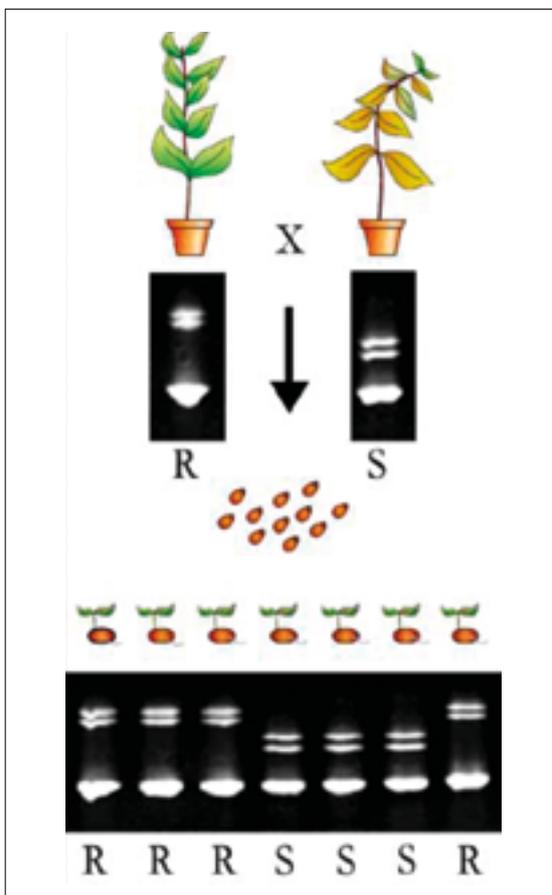
#### **DANNI AMBIENTALI**

La coltivazione di PGM viene spesso presentata, da chi ne auspica il bando, come un'attività estranea ai normali processi naturali e perciò dagli effetti non facilmente prevedibili. L'introduzione delle PGM sarebbe insomma più o meno paragonabile a quella degli insetticidi come il DDT, i quali anche a distanza di molti anni dal loro utilizzo hanno causato gravi e inattesi danni ambientali.

Nell'articolo sopra citato (Monastra, 2004) sono riportati alcuni dati percentuali che denotano scarsi successi da parte delle ricerche finora eseguite sulle PGM, indicando non soltanto un risultato positivo ogni mille tentativi, ma anche cospicui fenomeni di instabilità (il 64-92% del tabacco GM di prima generazione finisce per alterarsi); senza considerare la complessità dei processi controllati dai geni e la nostra bassa conoscenza dei medesimi.

In generale, coloro che criticano l'utilizzo degli OGM, giudicandoli innaturali, tendono a sottolinearne unicamente i fallimenti o gli effetti negativi evidenziati da ricerche che non sempre risultano esenti da critiche.

Le mutazioni genomiche sono un fenomeno "naturale", responsabile di aver generato nel corso di millenni parte considerevole delle varietà che oggi possiamo osservare. Grazie a queste mutazioni spontanee, piante e animali si evolvono con differenti genotipi e fenotipi. L'uomo ha da sempre sfruttato queste "modifiche" naturali, selezionando le piante che meglio si adattavano ai suoi bisogni in termini sia quantitativi che qualitativi. Un esempio classico è rappresentato dal frumento addomesticato, selezionato nei secoli per assicurarne maggiore produzione e taglie più basse per non essere "allettato": (termine che viene usato per indicare la pianta abbattuta sul suolo a causa del vento e della pioggia) e impedire la caduta delle cariossidi dalle spighe.



5. Utilizzo dei marcatori molecolari per la resistenza a un patogeno o la tolleranza alla siccità: R = resistente, S = sensibile.

Il miglioramento varietale ha sempre cercato di rispondere alle esigenze sia degli agricoltori che degli altri soggetti della filiera agroalimentare – dalla grande distribuzione sino al consumatore – per ottenere più favorevoli caratteristiche di panificazione per il grano, maggior capacità di conservazione delle produzioni nelle celle frigo, frutta e verdura più colorata e saporita eccetera. Fallimenti commerciali, come il pomodoro GM *Flav Savr*, sono molto comuni anche nelle selezioni di nuove varietà basate su metodi classici.

I cosiddetti “cibi Frankenstein”, dei quali il più conosciuto è forse quello della “fragola-pesce”, tornano spesso alla ribalta dei giornali. Due scienziati russi, A.P. Firsov e S.V. Dolgov, estrassero da una varietà di sogliola artica (*Pseudopleuronectes americanus*) un gene sintetizzatore di una proteina che assicurava la resistenza alle basse temperature e lo trasferirono alla

comune fragola da giardino (*Fragaria x ananassa*). L'esperimento diede risultati positivi *in vitro* e in serra, però è rimasto confinato all'ambito del laboratorio e non ha mai portato alla costituzione e diffusione di nuove varietà commerciali. La storia della fragola-pesce, portata spesso quale esempio dagli oppositori degli OGM, non ha quindi fondamento ed è da considerarsi come la più famosa tra le “bufale” su tale categoria di organismi.

Sicuramente la scienza non ha ancora compreso in maniera esaustiva i meccanismi regolati dai geni, tutt'altro che suscettibili di essere ridotti a schemi semplicistici. Recenti studi, ad esempio, hanno rivelato come i cereali in condizioni di stress idrico attivino, per la loro sopravvivenza, non meno di 3200 geni.

Ancora: quanti si oppongono alle loro coltivazioni sottolineano spesso il rischio di inquinamento ambientale da parte di PGM. In effetti, nel 2002 apparve su *Nature* un articolo di Quist e Chapela nel quale si dimostrava come a causa dell'impollinazione da parte di insetti si verificassero fenomeni di incrocio tra varietà di mais GM e piante selvatiche affini. È inoltre probabile che si abbia contaminazione genetica tra cereali GM resistenti al virus del nanismo giallo dell'orzo (BYDV) e piante selvatiche compatibili (come ad esempio l'avena), le cui conseguenze possono consistere nella maggiore competizione delle piante spontanee infestanti o in un diffondersi di queste nuove specie più aggressive a danno di erbe spontanee. L'utilizzo di piante GM come il mais Bt potrebbe avere impatti negativi anche su insetti non dannosi alle coltivazioni quale la farfalla Monarca (*Danaus plexippus*), le cui larve vengono uccise per il 50% dalla tossina inserita nel mais Bt (gli studi che hanno portato a questo dato, comunque, sono poi stati ridimensionati e in parte smentiti). Altri esempi negativi sono rappresentati da batteri come *Klebsiella planticola*, modificato per produrre etanolo dai rifiuti agricoli, o come altri utilizzati per decomporre l'erbicide 2,4-D che producono un metabolita tossico il 2,4-Dcp: tutti batteri che contaminano il terreno uccidendo funghi utili alle coltivazioni.

Lo scrivente, in ogni caso, ritiene che l'impatto negativo (presunto o reale) della coltivazione degli OGM sull'agricoltura "convenzionale" sia nel suo complesso molto limitato. L'utilizzo di erbicidi selettivi o non selettivi e l'introduzione di nuove varietà ottenute con i metodi "classici", ad esempio, hanno negli anni modificato la biodiversità all'interno dei campi coltivati e lungo i loro confini. L'attività agricola ha per secoli modificato il territorio e l'ecosistema: pensiamo ai disboscamenti avvenuti nei secoli scorsi per aumentare le terre arabili e sfamare le popolazioni in aumento (non riuscendo ad aumentare le rese venivano aumentate le superfici). Danni ambientali possono essere considerati tutti i miglioramenti fondiari avvenuti nei secoli: il modellamento delle pendici con la creazione di terrazzamenti, la bonifica di terreni paludosi che oggi invece vengono preservati, l'inondazione dei terreni allo scopo di coltivarvi il riso eccetera. Pertanto, nonostante la stampa mondiale abbia dato risalto unicamente ai possibili danni ambientali dovuti agli OGM, questi in realtà non rappresenterebbero che una minima percentuale del loro totale imputabile all'agricoltura in generale.

Le ricerche cui fanno riferimento coloro che sopravvalutano i danni ambientali delle PGM sono risultate talvolta poco attendibili dal punto di vista scientifico. Il lavoro di Quist e Chapela pubblicato su *Nature* è stato in parte smentito da altre ricerche. E anche la mortalità delle larve della farfalla Monarca sembrerebbe derivare molto più da indigestione da polline utilizzato in grande abbondanza, che non dalla tossina contenuta nel mais Bt.

Alcuni studi scientifici hanno dimostrato l'effettiva ibridazione di piante spontanee da parte di PGM. È il caso della colza *Brassica napus* modificata per tollerare l'erbicida glufosinato, capace di ibridare con *Brassica campestris* in esperimenti in campo, o colza modificata per il gene Bt di ibridare varietà spontanee di *Brassica rapa*. Esiste anche il rischio di trasferimento orizzontale dei geni ingegnerizzati dalle PGM ai batteri del suolo come *Acinetobacter*: trasferimento che nel 1998 è stato effettivamente attuato in labo-

ratorio da Gebhard e Smalla (Giovannetti, 2003, 42-50).

Almeno nell'Unione Europea, comunque, la normativa sugli OGM è molto severa. Prima di poter essere coltivata, infatti, qualsiasi PGM deve essere sottoposta a numerose analisi ad una rigorosa valutazione del rischio ambientale (VRA).

#### PERICOLI PER LA SALUTE

Gli OGM vengono spesso additati come pericolosi per la salute umana, e i *media* riportano vari esempi a sostegno di questa tesi. Va ricordato il caso della soia modificata con un gene della noce del Brasile per aumentarne il valore nutrizionale, e che invece è risultata causa di effetti allergizzanti. Va anche ricordato il caso del triptofano di sintesi ottenuto da *Bacillus amytholiquefaciens* GM, responsabile di aver prodotto anche un derivato tossico che nel 1988 ha provocato la morte di trentasei persone e numerose paralisi. Un pericolo per la nostra salute deriverebbe anche dall'assunzione di DNA geneticamente modificato che non sarebbe digerito, ma si accumulerebbe intatto all'interno del nostro corpo e in particolare nelle cellule della milza e del fegato. Ancora più in generale, la creazione di PGM tolleranti agli erbicidi incentiverebbe l'impiego di questi prodotti chimici dannosi per l'ambiente e per la salute umana. E l'utilizzo sino a pochi anni fa di geni resistenti agli antibiotici quali marcatori *in vitro* per la selezione degli OGM ha suscitato il timore che questa resistenza si possa diffondere nell'ambiente a batteri patogeni per l'uomo.

I pericoli per la salute collegati alle produzioni GM sono presenti così come per ogni altra produzione agroalimentare. L'elenco di alimenti naturali che possiedono sostanze allergizzanti è lungo (soia, arachidi, sesamo, uova, noce brasiliana) e spesso hanno scatenato allergie anche mortali. Alimenti comuni (funghi, mandorle, manioca, fagioli di Lima, basilico eccetera) che contengono sostanze tossiche in basse quantità vengono giornalmente utilizzate nelle cucine di tutto il mondo senza che nessuno gridi allo scandalo. I farmaci ritirati dal mercato perché causa di effetti collaterali anche mortali sono numerosi

eppure la ricerca medica continua a sviluppare nuovi farmaci ed i consumatori continuano a comprarli per curare le malattie.

Spesso è diffusa dai media l'idea che mangiando cibi OGM si corra il rischio di diventare anche noi geneticamente modificati. Per fortuna i processi che regolano la digestione dei cibi sono complessi e garantiscono l'impossibilità di trasformarci in quello che mangiamo. Ogni giorno ingeriamo circa un grammo del DNA contenuto negli alimenti, il quale viene scomposto all'interno dello stomaco in parti generalmente inferiori alle 400 coppie di basi. Alcune ricerche su ratti hanno dimostrato che solo una piccola percentuale (meno dello 0,1%) può essere assorbita dalle cellule dell'intestino e rimanere per alcune ore nel sangue o nel fegato prima di essere degradata, senza però conseguenze per l'animale (Consiglio Scientifico per le Biotecnologie in Agricoltura della Lombardia, 2004).

#### ASPETTI ECONOMICI

Le PGM sono il risultato di ricerche scientifiche tese a soddisfare le richieste di milioni di agricoltori che vogliono proteggere le loro coltivazioni da attacchi parassitari, migliorarne la qualità e incrementarne le rese per ettaro. In ultima analisi, quindi, ciò che gli agricoltori si aspettano dall'utilizzo di PGM, è di acquisire vantaggi economici.

Secondo molti oppositori, invece, le PGM, in quanto dotate di un gene – chiamato *terminator* – che a crescita avvenuta le rende sterili, costringerebbero gli agricoltori ad acquistare ogni anno nuove sementi dalle multinazionali; per cui nel lungo periodo i maggiori profitti da parte di quanti hanno scelto di utilizzarle finirebbero per vanificarsi. Inoltre i prodotti geneticamente modificati, non essendo accettati dalla maggior parte dei consumatori, causerebbero un danno commerciale anche ai produttori OGM-*free*, in quanto nel medio e lungo periodo in paesi come l'Italia, a causa dell'inquinamento genetico, non si riuscirebbe a mantenere separate le coltivazioni GM da quelle tradizionali.

A queste critiche si può rispondere che nessun

agricoltore è obbligato all'acquisto di sementi GM; d'altra parte, il solo fatto che per tali piante esista e persista un mercato assai consistente sta a significare che esse, agli agricoltori che le utilizzano ogni anno, qualche beneficio economico devono pur portarlo.

L'atteggiamento di rifiuto di acquistare prodotti GM da parte dei consumatori è forse in gran parte determinato da cattiva informazione: un'informazione che da anni, invece di presentare il tema in maniera rigorosa e scientificamente oggettiva, preferisce focalizzarsi su possibili, ma non dimostrati pericoli per la salute connessi a questi alimenti.

Il settore agricolo ha da sempre dovuto affrontare problemi – sia legati al terreno e al clima, sia di carattere fitosanitario, sia di natura economico-commerciale – cui gli istituti di ricerca scientifica tanto pubblici quanto privati hanno sempre cercato di dare adeguate risposte. Le PGM hanno risolto esigenze anche nell'ambito della filiera agroindustriale, ad esempio riducendo la quantità di caffeina nel caffè oppure, più in generale, le perdite di prodotto nei magazzini o sui banconi della grande distribuzione.

A chi sostiene che le PGM sono un monopolizzate dalle multinazionali, si può ribattere che le applicazioni delle biotecnologie in agricoltura sono molteplici e alcune di queste sono state realizzate espressamente per i paesi in via di sviluppo (PVS) da centri di ricerca internazionali e senza fini di lucro. Le sementi del riso arricchito in pro-vitamina A e della papaia resistente a virus, ad esempio, sono fornite ai piccoli agricoltori dei PVS gratuitamente o a prezzi contenuti.

Grazie alle PGM, dal 1996 al 2010, si è raggiunto quanto segue (Brookes & Barfoot, 2012):

- un aumento della produzione agricola per un valore stimato di 78 miliardi di dollari, con un conseguente notevole contributo nei confronti della fame e della povertà delle popolazioni dei PVS (aumento delle rese/ettaro e della redditività delle colture per 15 milioni di piccoli agricoltori, prevalentemente della Cina e dell'India);

- un minore uso di terreno coltivato (risparmio valutabile in circa 91 milioni di ettari, rispetto

alla superficie necessaria per ricavarne un'identica resa) e quindi un minore impatto sulla biodiversità;

- un più basso uso di pesticidi (risparmio valutato in 443 milioni di kg solo nel 2010 grazie a piante più resistenti) e quindi una migliore salvaguardia dell'ambiente.

## Per concludere

Gli OGM sono il risultato della ricerca scientifica del Novecento, tesa a migliorare le condizioni di vita dell'uomo mediante nuove tecniche di ingegneria genetica.

Anche se in questo articolo ci siamo concentrati sulle PGM, gli organismi geneticamente modificati includono anche batteri, funghi e animali, tutti creati per migliorare le nostre condizioni di vita, produrre sostanze farmaceutiche su larga scala a prezzi bassi e snellire i processi industriali.

Malgrado il dibattito sugli OGM si sia spesso cristallizzato su alcuni temi o casi giornalistici (fragola-pesce, multinazionali, riduzione della biodiversità eccetera), la ricerca su di essi è andata avanti migliorando le tecnologie a disposizione ed ampliando i metodi di ricerca o perfezionando quelli considerati classici del Novecento.

Pur rimanendo alla base della ricerca scien-

tifica, i principi di precauzione e di valutazione dell'impatto sull'ambiente e sulla salute umana non possono diventare ragioni sufficienti per fermare il ramo specificamente rivolto allo studio delle modificazioni genetiche. Impedire la ricerca pubblica in questo settore ci farebbe perdere competitività come sistema paese, non ci consentirebbe di accertare con prove scientifiche gli eventuali pericoli per la salute o l'ambiente ed infine favorirebbe proprio le multinazionali tanto avversate dagli oppositori degli OGM. Privatamente, infatti, le multinazionali sono in condizione di effettuare ricerca in tutto il mondo e di far arrivare nei nostri piatti OGM concepiti e prodotti solo prevalentemente a fine di lucro e perciò di valore intrinsecamente sospetto.

In conclusione, la convivenza tra diversi metodi di coltivazione, appunto in quanto è possibile, rimane senz'altro auspicabile. Pertanto maggiori saranno le ricerche nel campo dell'ingegneria genetica e maggiori diverranno anche le nostre conoscenze sui meccanismi dell'inquinamento ambientale e su come combatterlo nel rispetto di entrambi i tipi di coltivazione. Quando invece uno stato vieta la ricerca pubblica consentendo la distruzione di campi sperimentali nelle proprie università, vuol dire che ha rinunciato al suo futuro per affidarsi solo a modelli di sviluppo ostinatamente rivolti al passato e perciò suscettibili di impoverire il paese.

## Testi citati

- Baima S. & Morelli G. (2010) - *Dai geni ai semi*. INRAN, Roma
- Bressanini D. (2010) - *Pane e Bugie*. Chiarelettere, Milano.
- Clive J. (2011) - *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011*. Brief 43, ISAA.
- Consiglio Scientifico per le Biotecnologie in Agricoltura della Lombardia (2004) - *OGM in agricoltura: le risposte alle domande più frequenti OGM*. Quaderni della ricerca n. 38, Regione Lombardia, Milano.
- Consiglio per la Sperimentazione e la Ricerca in Agricoltura, CRA (2009) - *Miglioramento genetico e biodiversità*. <http://sito.entecra.it/portale/index2.php>

- Autorità Europea per la Sicurezza in Alimentare, EFSA (2012) - *Scientific Opinion on a request from the European Commission related to the emergency measure notified by France on genetically modified maize MON 810 according to Article 34 of Regulation (EC) No 1829/2003*. EFSA, Parma.
- Giovannetti M. (2003) - *Cibo*. Globalizzazione e alimentazione. *Il Ponte*, 9 (6): 42-50.
- Brookes G. & Barfoot P. (2012) - *Contributo delle colture biotecnologiche per la sicurezza alimentare*. ISAA. [www.isaaa.org](http://www.isaaa.org).
- Organizzazione delle Nazioni Unite, ONU (2011) - *World Population Prospects, the 2010 Revision*. ONU, New York.

# Una passeggiata nella prateria del *Mare Nostrum* che fa pensare

Francesca Borghini

via Dei Rossi 56, 53100 Siena; borghini@unisi.it

Se proponete a subacquei un'immersione in prateria di *Posidonia oceanica*, la maggior parte di loro probabilmente non mostrerà grande entusiasmo: è opinione diffusa, infatti, che essa costituisca un ambiente monotono e con poco da vedere. Proviamo a sfatare tale convinzione!

A dispetto del nome la *Posidonia oceanica* è endemica del Mediterraneo e, al contrario di quello che comunemente si pensa, non è un'alga ma una vera e propria pianta, provvista di radici, fusto e foglie. Il nome di questa fanerogama deriva da Poseidone, una delle più importanti divinità del passato; esso appare particolarmente appropriato, visto che con le sue praterie costiere (fig. 1) forma il principale ecosistema del nostro mare.

La *Posidonia* vive normalmente tra 1 e 30 m circa di profondità, spingendosi verso i 40 m in acque molto limpide (in grado, cioè di essere attraversate dalla radiazione solare per il compimento dei processi di fotosintesi clorofilliana). Può vivere entro un discreto campo di temperature (da 10 a 28°C circa) mentre è poco tollerante nei confronti delle variazioni di salinità, per cui è assente alle foci dei fiumi e nelle lagune salmastre costiere. Il tipo di fondale più colonizzato da questa pianta è quello sabbioso, anche se essa si fissa di frequente su detriti e su roccia, modificando il substrato. La sua presenza segna il limite inferiore del piano infralitorale nel Mediterraneo, all'interno del quale occupa un'area compresa tra il 2 e il 4% dell'intero bacino.

Il fusto, trasformato in rizoma, può essere di tipo strisciante (plagiotropo) o eretto (ortotropo);

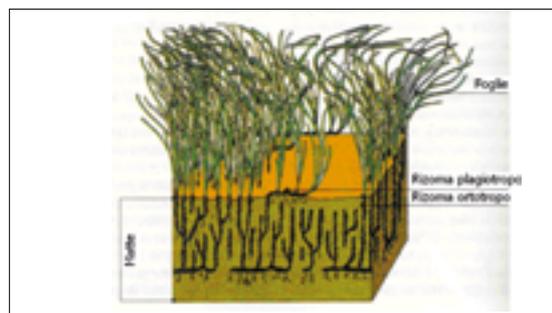
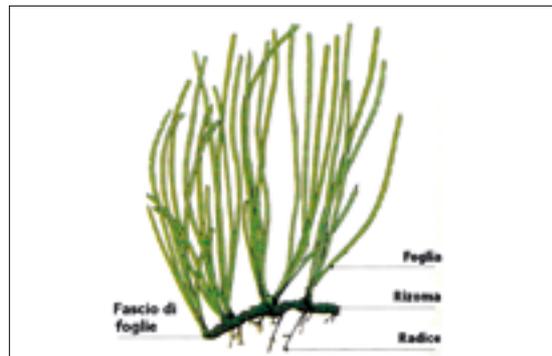


1. Una tipica prateria di *Posidonia oceanica* dei nostri mari.

esso possiede inferiormente le radici e superiormente l'apice vegetativo, da cui hanno origine i ciuffi di foglie nastriformi, composti ognuno da sei-sette elementi. Le foglie si sviluppano a partire del centro del ciuffo per cui quelle più vecchie vengono a trovarsi nella posizione più esterna del ciuffo stesso (fig. 2). La velocità di crescita delle foglie non è costante, ma è maggiore in primavera e minore in estate. Nel periodo estivo, inoltre, la superficie fogliare è ricoperta da un gran numero di organismi epifiti. Le foglie vecchie sono riconoscibili per la colorazione bruna e per la ricchezza di questi organismi. Nel momento in cui muoiono, esse lasciano la base attaccata al rizoma che assume così l'aspetto di una struttu-

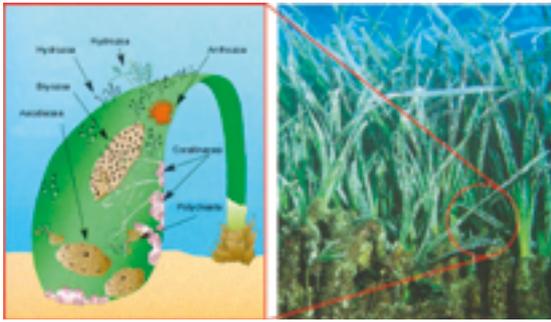
ra a scaglie. La fioritura si verifica verso settembre nelle praterie superficiali e verso novembre in quelle profonde. I fiori sono raggruppati (da quattro a dieci) in un'infiorescenza di colore verde, provvista di un peduncolo al centro del ciuffo fogliare. Dopo sei-nove mesi si ha la maturazione del frutto, detto volgarmente "oliva di mare", il quale all'inizio dell'estate si stacca dalla pianta e sale in superficie per essere trasportato dal vento e dalla corrente (spesso si trova sulla battigia dopo una mareggiata). Qualche giorno più tardi il pericarpo marcisce, lasciando cadere il seme sul fondo. In presenza di condizioni idonee, sia chimico-fisiche che del substrato, a questo punto può avvenire la germinazione. La riproduzione sessuata non si verifica però con costanza annuale ma segue cicli pluriennali non ancora ben identificati, per cui la diffusione principale della pianta avviene per stolonizzazione. In altre parole si assiste ad una lenta e continua crescita dei rizomi (da 5 a 10 cm l'anno), i quali si intrecciano tra loro prima in senso orizzontale ed in seguito verticale. Tale comportamento è necessario sia per garantire un'adeguata esposizione alla luce, nel caso in cui la densità dei ciuffi fogliari diviene troppo elevata, sia per prevenire il rischio di insabbiamento. Gli spazi tra i rizomi vengono progressivamente colmati da sedimento e detriti di origine biologica, costituendo con il tempo una struttura molto compatta e resistente detta *matte* (fig. 2). L'edificazione della *matte* rappresenta il risultato di un equilibrio dinamico tra la crescita verticale dei rizomi e l'accumulo dei sedimenti intrappolati dalla prateria: se quest'ultimo è troppo rapido da non essere compensato da un analogo aumento di crescita in altezza della pianta, le parti vegetative muoiono per soffocamento; se, al contrario, si è in presenza di deficit sedimentario, si verifica lo scalzamento dei rizomi con progressiva distruzione della prateria. La velocità di innalzamento delle *matte*, pur variando di caso in caso, è stata stimata in circa 1 m al secolo.

Le praterie di *P. oceanica* rivestono un ruolo fondamentale nell'economia generale delle aree costiere per l'influenza che hanno sulle comu-



2. Parti principali della pianta di *P. oceanica* (a sinistra) e la caratteristica *matte* (a destra).

nità animali e vegetali. La produzione primaria annuale delle foglie viene stimata in circa 730 g/m<sup>2</sup> in peso secco; tale valore pone la prateria al primo posto tra le biocenosi mediterranee ed è paragonabile a quello delle foreste europee o delle colture di cereali. Si calcola che circa il 30% della sua produzione di biomassa ed energia venga esportata in ecosistemi sia limitrofi, sia distanti e molto più profondi. Come la foresta amazzonica per l'ambiente terrestre, la prateria di *P. oceanica* è fondamentale per l'ossigenazione delle acque: 1 m<sup>2</sup> di prateria può produrre per via fotosintetica fino a 20 L di ossigeno al giorno. Da rilevare inoltre che lo strato fogliare e le foglie morte a riva (*banquette*) esercitano un'azione di smorzamento del moto ondoso e, quindi, rappresentano una barriera naturale contro l'erosione del litorale. Purtroppo, pur essendo stato appurato che la regressione di 1 metro di prateria può provocare addirittura l'arretramento di 15-18 m di spiaggia, le *banquettes* sono spesso rimosse artificialmente durante le operazioni di manutenzione e pulizia degli arenili, di fatto impedendo la difesa dall'erosione.



3. Epifiti sulle foglie di *P. oceanica*.

La prateria di *P. oceanica* rappresenta per molte specie animali un luogo adatto all'alimentazione ed alla riproduzione, nonché un comodo rifugio. Essa, infatti, ospita una ricchezza specifica altissima, stimata il 20-25% delle specie conosciute nel Mediterraneo. Questa ricchezza è dovuta alla presenza di differenti "ambienti" (quello dell'apparato fogliare, quello dello strato dei rizomi e quello del sedimento) in cui la vita richiede adattamenti particolari. Le fronde ospitano una flora e una fauna epifitica di tipo fotofilo (fig. 3); i rizomi e il substrato invece, a causa della minor quantità di luce, sono caratterizzati da popolamenti con lineamenti sciafili. La prateria è dunque una biocenosi molto complessa e ben strutturata, caratterizzata da una grande biodiversità di comunità vegetali e animale. Così, "passeggiando" in prateria, facendo attenzione e rovistando delicatamente tra le fronde, si possono incontrare oltre a una grande varietà di pesci che fanno capolino (fig. 4) o che velocemente si nascondono all'arrivo dei subacquei, molti invertebrati come spugne, echinodermi (fig. 5), crostacei e molluschi (figg. 6-7) e ammassi di uova accuratamente nascosti (fig. 8).

Negli ultimi decenni si è registrata in quasi tutto il Mediterraneo un'importante regressione della superficie occupata dalle praterie di *P. oceanica*, tanto da far annoverare il fenomeno tra le emergenze del nostro mare. L'ancoraggio, la pesca a strascico e l'inquinamento marino agiscono pesantemente sull'equilibrio delle praterie; anche la costruzione di porti, moli e altre strutture possono incidere sul loro declino attraverso la modifica del flusso delle correnti e dell'apporto dei



4. Uno sciarrano (*Serranus scriba*) che si affaccia tra le fronde della prateria.



5. Un giglio di mare (crinoide) tra le foglie di *Posidonia*.

sedimenti. Tutti gli elementi informativi dell'articolo conducono a riflessioni che coinvolgono non solo aspetti naturalistici, ma anche aspetti socio-economici di grande rilievo. La ricchezza

inestimabile delle praterie a *Posidonia oceanica*, quindi, deve essere tutelata o meglio ancora accresciuta; ciascuno di noi dovrebbe sentirsi impegnato in tal senso.



6. Con i suoi colori sgargianti, una flabellina (mollusco nudibranco) spicca sulle foglie della *Posidonia*.



7. *Janulus* sp., un altro nudibranco diffuso nella prateria.



8. Uova di mollusco nascoste nella prateria.

# Schede naturalistiche



Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

# Le farfalle della Montagnola Senese

Leonardo Favilli, Sandro Piazzini, Giuseppe Manganelli

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, via Mattioli, 4, 53100 Siena;  
giuseppe.manganelli@unisi.it

Le farfalle costituiscono una delle componenti più significative della biodiversità mediterranea. Comprendono, infatti, numerose specie, molte delle quali sensibili alla modificazione e alla distruzione degli habitat e, pertanto, considerate ottimi bioindicatori e come tali privilegiate nella redazione di liste di specie minacciate. Inoltre risultano tra le più caratteristiche “specie bandiera”, specie cioè con sfavorevole stato di conservazione, che per la loro vistosità e loro bellezza possono colpire emotivamente e, quindi, attrarre l'interesse dell'opinione pubblica sulle tematiche inerenti la conservazione della natura, agendo così da traino per la messa in atto di iniziative finalizzate alla tutela della biodiversità.

## **La Montagnola Senese: una catena di rilievi a occidente di Siena**

La Montagnola Senese è un'area collinare situata a nordovest della città di Siena, compresa nei territori dei comuni di Casole d'Elsa, Colle di Val d'Elsa, Monteriggioni, Siena e Sovicille. È formata da una serie di modesti rilievi (altezza massima: Poggio ai Legni, 666 m) facenti parte della Dorsale Medio Toscana che decorrono, con un allineamento nord-sud, per una quindicina di chilometri e occupano una superficie di un centinaio di chilometri quadrati. Geologicamente è costituita da un nucleo di formazioni metamor-



1. Il versante nord-occidentale della Montagnola Senese dalla villa del Caggio, tra Colle di Val d'Elsa e Casole d'Elsa. (Foto G. Cappelli)

fiche di età mesozoica (Unità Toscane) ricoperto da una serie di formazioni mesozoiche marine alloctone (Unità Liguri) e da una coltre di sedimenti fluvio-lacustri di età più recente (Complesso Neoautoctono). Notevole estensione hanno le formazioni carbonatico-siliceo-argillose, i calcari a *Rhaetavicula contorta* e il calcare cavernoso, che hanno consentito lo sviluppo di estesi fenomeni carsici, con doline, cavità e grotte.

La natura prevalentemente calcarea del substrato facilita l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque superficiali e meteoriche per cui i corsi d'acqua sono molto brevi e hanno carattere torrentizio (uniche eccezioni il Fiume Elsa e il Torrente Rosia che, della Montagnola, ne delimitano i confini occidentale e meridionale).

La Montagnola presenta un clima temperato, con una temperatura media annua di 13-14 °C e precipitazioni più abbondanti in autunno e in primavera, con valori medi annui di circa 1000 mm.

È ricoperta da una vegetazione costituita prevalentemente da boschi di leccio, roverella, cerro e castagno e, secondariamente, da praterie, garighe, ex coltivi e colture. Garighe e praterie si sviluppano in corrispondenza di morfologie acclivi, su substrati carbonatici o ultramafici, e sono costituite da specie erbacee e arbustive spiccatamente xerofile e termofile. Gli ex coltivi si trovano ai margini dei boschi o alternati a questi mentre le colture, poco diffuse, sono rappresentate da oliveti, vigneti e seminativi non irrigui. Localmente è praticato il pascolo del bestiame, soprattutto ovino e suino; ampiamente diffusa è l'attività estrattiva: attualmente sono in funzione otto cave che producono polveri e granulati e una minima quantità di marmo per la lavorazione lapidea.

### **La diversità della ropalocerofauna della Montagnola Senese**

Quasi cento specie di farfalle diurne vivono nella Montagnola Senese (tab. 1): queste specie rappresentano il 64% delle entità note per la Toscana e quasi il 35% di quelle viventi in Italia.

Solo in tre altri comprensori della Toscana, il Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi-Monte Falterona-Campigna, la Valdinievole e le Alpi Apuane, è conosciuto un maggior numero di specie, ma si tratta di aree più vaste e che possiedono zone umide e ambienti montani adatti a entità con esigenze ecologiche diverse.

La lepidotterofauna diurna della Montagnola non è soltanto una delle più ricche della Toscana, ma è anche una di quelle di maggior interesse faunistico e conservazionistico. Infatti, accanto a specie comuni e ampiamente diffuse come *Pieris rapae*, *Colias crocea*, *Gonepteryx rhamni*, *Aricia agestis*, *Polyommatus icarus*, *Lasiommata megera* e *Maniola jurtina*, annovera anche specie ad alto rischio di scomparsa in Europa, estinte o prossime a esserlo in molti paesi, come *Phengaris arion*. Comprende, inoltre, specie poco diffuse e/o minacciate in Toscana e in Italia come *Pyrgus sidae*, *Carcharodus lavatherae*, *Zerynthia cassandra*, *Lycaena thersamon*, *Satyrium w-album*, *Brenthis hecate* e *Charaxes jasius* e specie al limite meridionale dell'areale di distribuzione come *Polyommatus hispanus*.

*Phengaris arion* è una delle farfalle diurne a maggior rischio della fauna europea (è inserita come "SPEC1", specie ad altissima priorità di conservazione, tra le "Species of European conservation Concern"). Si tratta di una specie appartenente a un gruppo di licenidi con un peculiare ciclo vitale. L'adulto, infatti, depone le uova sulle foglie di timo; dopo una decina di giorni dalle uova fuoriescono le larve che iniziano a nutrirsi dei fiori. A un certo punto sull'addome delle larve si sviluppano particolari ghiandole che producono una sostanza zuccherina, molto gradita alle formiche. Il bruco, allora, lascia la pianta ospite e si sposta nei dintorni fin quando viene raccolto da una formica che lo porta nel formicaio. Qui, in una particolare forma di simbiosi, le formiche si nutrono della sostanza prodotta dal bruco mentre questo si ciba delle larve mature delle formiche. Una volta completata la crescita, il bruco smette di nutrirsi e si trasforma in crisalide che rimarrà quiescente fino all'anno successivo quando si schiuderà dando origine a una farfalla adulta.

Nel corso degli ultimi trent'anni la maggior parte

**Tab. 1. Checklist delle farfalle della Montagnola Senese (•: specie di interesse faunistico e conservazionistico)**

**Famiglia Hesperidae**

- *Erynnis tages* (Linnaeus, 1758)
- Carcharodus alceae* (Esper, 1780)
- *Carcharodus lavatherae* (Esper, 1783)
- *Carcharodus flocciferus* (Zeller, 1847)
- Spialia sertorius* (Hoffmannsegg, 1804)
- *Pyrgus sidae* (Esper, 1784)
- Pyrgus malvoides* (Elwes & Edwards, 1897)
- Pyrgus onopordi* (Rambur, 1839)
- *Pyrgus armoricanus* (Oberthür, 1910)
- Heteropterus morpheus* (Pallas, 1771)
- Thymelicus lineola* (Ochsenheimer, 1808)
- Thymelicus sylvestris* (Poda, 1761)
- *Thymelicus acteon* (Rottemburg, 1775)
- *Hesperia comma* (Linnaeus, 1758)
- Ochlodes sylvanus* (Esper, 1777)

**Famiglia Papilionidae**

- *Zerynthia cassandra* (Geyer, 1828)
- Iphiclidus podalirius* (Linnaeus, 1758)
- Papilio machaon* (Linnaeus, 1758)

**Famiglia Pieridae**

- Leptidea sinapis* (Linnaeus, 1758)
- Anthocharis cardamines* (Linnaeus, 1758)
- Euchloe ausonia* (Hübner, 1804)
- Aporia crataegi* (Linnaeus, 1758)
- Pieris brassicae* (Linnaeus, 1758)
- Pieris mannii* (Mayer, 1851)
- Pieris rapae* (Linnaeus, 1758)
- Pieris napi* (Linnaeus, 1758)
- Pontia edusa* (Fabricius, 1777)
- Colias crocea* (Geoffroy, 1785)
- Colias alfacariensis* (Ribbe, 1905)
- Gonepteryx rhamni* (Linnaeus, 1758)
- Gonepteryx cleopatra* (Linnaeus, 1767)

**Famiglia Lycaenidae**

- Lycaena phlaeas* (Linnaeus, 1761)
- Lycaena tityrus* (Poda, 1761)
- *Lycaena alciphron* (Rottemburg, 1775)
- *Lycaena thersamon* (Esper, 1784)
- Favonius quercus* (Linné, 1758)
- Callophrys rubi* (Linnaeus, 1758)
- *Satyrium w-album* (Knoch, 1782)
- *Satyrium ilicis* (Esper, 1779)
- Satyrium acaciae* (Fabricius, 1787)
- Lampides boeticus* (Linnaeus, 1767)
- Cacyreus marshalli* (Butler, 1898)
- Leptotes pirithous* (Linnaeus, 1767)
- Cupido minimus* (Füessly, 1775)
- Cupido argiades* (Pallas, 1771)
- Cupido alcetas* (Hoffmannsegg, 1804)
- Celastrina argiolus* (Linnaeus, 1758)
- *Pseudophilotes baton* (Bergsträsser, 1779)
- Glauopsyche alexis* (Poda, 1761)
- *Phengaris arion* (Linnaeus, 1758)
- Plebejus argus* (Linnaeus, 1758)
- Plebejus idas* (Linnaeus, 1761)
- Aricia agestis* (Denis & Schiffermüller, 1775)
- Polyommatus thersites* (Cantener, 1835)
- Polyommatus icarus* (Rottemburg, 1775)
- *Polyommatus bellargus* (Rottemburg, 1775)
- Polyommatus coridon* (Poda, 1761)
- *Polyommatus hispanus* (Herrich-Schäffer, 1851)

**Famiglia Nymphalidae**

- *Libythea celtis* (Laicharting, 1782)
- Argynnis paphia* (Linnaeus, 1758)
- *Argynnis aglaja* (Linnaeus, 1758)

- Argynnis adippe* (Denis & Schiffermüller, 1775)
- Issoria lathonia* (Linnaeus, 1758)
- Brenthis daphne* (Bergsträsser, 1780)
- *Brenthis hecate* (Denis & Schiffermüller, 1775)
- Boloria euphrosyne* (Linnaeus, 1758)
- Boloria dia* (Linnaeus, 1767)
- Vanessa atalanta* (Linnaeus, 1758)
- Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758)
- Aglais io* (Linnaeus, 1758)
- Polygonia c-album* (Linnaeus, 1758)
- Polygonia egea* (Cramer, 1775)
- Nymphalis antiopa* (Linnaeus, 1758)
- Nymphalis polychloros* (Linnaeus, 1758)
- *Melitaea cinxia* (Linnaeus, 1758)
- Melitaea phoebe* (Denis & Schiffermüller, 1775)
- Melitaea didyma* (Esper, 1778)
- Melitaea athalia* (Rottemburg, 1775)
- Limenitis reducta* (Staudinger, 1901)
- *Charaxes jasius* (Linnaeus, 1767)
- Pararge aegeria* (Linnaeus, 1758)
- Lasiommata megera* (Linnaeus, 1767)
- Lasiommata maera* (Linnaeus, 1758)
- Coenonympha arcania* (Linnaeus, 1761)
- Coenonympha pamphilus* (Linnaeus, 1758)
- *Pyronia tithonus* (Linné, 1767)
- Pyronia cecilia* (Vallantin, 1894)
- Maniola jurtina* (Linnaeus, 1758)
- Melanargia galathea* (Linnaeus, 1758)
- *Hipparchia fagi* (Scopoli, 1763)
- *Hipparchia semele* (Linnaeus, 1758)
- *Hipparchia statilinus* (Hufnagel, 1766)
- Brintesia circe* (Fabricius, 1775)

delle popolazioni europee di *Phengaris arion* è andata incontro a un accentuato declino tanto che in alcuni paesi si è estinta (Olanda) o risulta prossima a esserlo (Finlandia, Danimarca, Belgio, Turchia europea). Le principali minacce sono costituite dalla distruzione dell'habitat causata dalla scomparsa di forme di agricoltura tradizionale, dall'abbandono delle zone montane, dal sovrapascolo del bestiame e dalla riforestazione delle aree aperte.

*Pyrgus sidae*, *Carcharodus lavatherae*, *Satyrium w-album* e *Brenthis hecate* sono quattro farfalle poco diffuse e spesso fortemente localizzate in

Italia peninsulare. In Toscana sono attualmente segnalate per un numero limitato di siti la maggior parte dei quali situati nella parte centro-meridionale della regione, a sud del corso del Fiume Arno. Anche *Lycaena thersamon* è una specie localizzata in Italia; in Toscana è molto rara, essendo nota per non più di una quindicina di stazioni, in alcune delle quali è stata segnalata soltanto prima degli anni ottanta del Novecento.

*Zerynthia cassandra* e *Charaxes jasius* sono inserite nella Lista Rossa degli insetti della Toscana come specie vulnerabili. Le principali minacce



2. Pascoli nei dintorni di Fungaja: la grande diversità delle farfalle della Montagnola Senese è dovuta alla mosaicità ambientale, con praterie, pascoli, coltivi e radure che si alternano a superficie boscate. (Foto G. Cappelli)

per la sopravvivenza delle loro popolazioni sono rappresentate dalla scomparsa dell'agricoltura tradizionale, dall'utilizzo di insetticidi e pesticidi, dal taglio della macchia mediterranea e dall'urbanizzazione degli ambienti planiziali e costieri a fini turistici.

*Polyommatus hispanus* in Italia è presente esclusivamente sul versante tirrenico, dalla Liguria alla Toscana. In quest'ultima regione è noto per il settore centrosettentrionale, con limite meridionale dell'areale nella Val di Farma e orientale presso Castiglion Fiorentino (Arezzo). Trattandosi di un'entità a gravitazione occidentale (è presente in Spagna, Francia meridionale e Italia centrosettentrionale), riveste un considerevole interesse biogeografico.

Significativa è, infine, la presenza di *Polyommatus daphnis* e di *Cupido minimus*. Queste due specie, pur non essendo particolarmente abbondanti, risultano tuttavia più frequenti che in altri comprensori della Toscana meridionale. Entrambe sono diffuse in tutte le regioni italiane, esclusa la Sardegna, prevalentemente lungo la catena alpina

e appenninica e sono considerate entità specialiste delle praterie calcicole.

L'origine di una così elevata ricchezza va ricercata in una mosaicità ambientale che ha favorito l'insediamento di una numerosa e diversificata serie di farfalle. Pur trattandosi, infatti, di un'area che è stata per secoli pesantemente condizionata dall'uomo, la Montagnola è priva di grandi centri abitati e di insediamenti industriali e la sua economia è basata in massima parte su attività per lo più tradizionali. L'appoderamento è ancora abbastanza diffuso (molti poderi sono stati "riconvertiti" in aziende agrituristiche) e, tranne rare eccezioni, viene praticata un'agricoltura non intensiva, con piccoli appezzamenti coltivati associati a incolti, boschetti e castagneti da frutto. L'allevamento del bestiame interessa superfici ridotte e il numero di capi al pascolo è basso. Inoltre, sebbene sia prevalentemente forestata, presenta anche molti ambienti aperti, risultando, nell'insieme, un territorio notevolmente mosaicizzato. Particolarmente importanti in questo senso sono ex coltivi, praterie xeriche e garighe, che ospita-



3. *Polyommatus daphnis* è una delle farfalle più importanti della Montagnola Senese: si tratta di una specie legata alle praterie calcicole che, seppur non particolarmente abbondante, è più frequente che in altri comprensori della Toscana meridionale. (Casa Nuova di Colle Ciupi, 19.07.09; Foto G. Manganelli)

no oltre i tre quarti delle farfalle presenti nella Montagnola Senese. I primi, situati all'interno di boschi e conosciuti come "insule coltivate", sono ciò che rimane delle superfici in passato adibite a coltura, nelle quali i naturali processi di ricolonizzazione della vegetazione non sono ancora conclusi. Ciò ha portato alla formazione di situazioni ambientali molto eterogenee, con alberature isolate o a gruppi associate a cespuglieti e prati. I secondi sono forme di vegetazione dominate da entità xerofile, termofile ed eliofile, che si sviluppano quasi esclusivamente in corrispondenza di scarpate stradali, sulle rupi e nelle chiarie del bosco. Nonostante la loro ridotta estensione, rappresentano ambienti di grande importanza floristica e faunistica, inclusi tra gli habitat di interesse comunitario e regionale ai sensi della di-

rettiva 92/43 CEE e della l.r. 56/00 della Toscana ["Praterie dei pascoli abbandonati su substrato neutro-basofilo (*Festuco-Brometea*); formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*)" (Cod. CORINE 34.32-34.33, Cod. NATURA 2000 6210.) "Arbusteti bassi a dominanza di *Juniperus communis* su lande delle *Calluno-Ulicetea* o su praterie neutro-basofile (*Festuca-Brometea*), formazioni a *Juniperus communis* su lande o prati calcarei" (Cod. CORINE 31.88, Cod. NATURA 2000 5130); "Garighe a *Euphorbia spinosa*" (Cod. CORINE 32441)]. L'importanza, per i lepidotteri, di ex coltivi, praterie e garighe è ben conosciuta, dimostrata dal fatto che quasi l'85% delle specie della fauna italiana dipendono strettamente da queste tipologie ambientali.



4. Due esemplari *Brenthis daphne* in accoppiamento. Questa farfalla frequenta radure e margini di boschi, presenta una sola generazione all'anno, ha un periodo di volo limitato ai mesi estivi e depone le uova sui rovi. (Pian del Lago, 12.06.09; Foto F. Tognazzi)

### **Tutelare la biodiversità salvaguardando il territorio**

La Montagnola Senese è una delle zone collinari più interessanti della Toscana e per le peculiarità vegetazionali, floristiche e faunistiche che la contraddistinguono è stata inserita tra le aree meritevoli di conservazione, nel sistema delle aree da proteggere e nella Rete Natura 2000 come Sito d'Importanza Comunitaria (SIC IT5190003).

È, quindi, evidente come la salvaguardia di questo comprensorio sia un compito imprescindibile, che si può assolvere soltanto tutelando il territorio e, con esso, le specie che lo frequentano, pena la perdita di valori unici di biodiversità.

Sebbene lo stato di conservazione della

Montagnola Senese sia migliore rispetto a quello di altre aree della Toscana per la diffusa naturalità che la caratterizza, sono presenti alcuni fattori di rischio che mettono in pericolo la sopravvivenza di molte specie.

L'attività estrattiva costituisce la principale minaccia in atto per le farfalle della Montagnola Senese. Le cave di marmo attualmente in funzione, infatti, portano all'alterazione, alla riduzione e alla perdita di habitat colonizzati da un gran numero di specie. L'ampliamento di alcune cave (ad esempio il Cavone di Pelli e la Cava Marronete presso Molli, nel comune di Sovicille), l'apertura di nuove o la riattivazione di dismesse (ad esempio le cave di Rassa e di Casanova, nel comune di Sovicille), prevista dal Piano Cave Regionale, potrebbe creare seri problemi per molte entità,

soprattutto per quelle rare e per quelle di maggior interesse.

L'attività di cava risulta in netto contrasto con i vincoli idrogeologico (Legge 3269/23), archeologico (Legge 1089/39), paesaggistico (Legge 1497/39) e ambientale (Legge 431/86) che insistono nell'area e, soprattutto, con quanto previsto dalle norme che regolano i SIC (Siti di Importanza Comunitaria), ma nonostante ciò tali prescrizioni vengono puntualmente disattese da parte degli addetti all'amministrazione e alla gestione del territorio.

Un altro problema, completamente diverso, è dato dalla scomparsa delle aree una volta adibite a pascoli o coltivi. Con l'abbandono delle campagne iniziato a partire dagli anni cinquanta del secolo scorso, molte di queste aree, soprattutto quelle di piccola estensione situate in collina (come le "insule coltivate" della Montagnola), sono state abbandonate e ricolonizzate da arbusteti e dal bosco, secondo un processo naturale che a lungo termine porta alla ricostituzione della vegetazione climax/originaria (quando ciò non è avvenuto in modo più rapido favorito da opere di riforestazione). Purtroppo, nel caso della Montagnola Senese, ciò condurrà alla scomparsa delle diffuse situazioni di mosaicità ambientale prodotte dall'agricoltura tradizionale che ospitano alcune delle specie di maggior interesse.

Sebbene già a iniziare dalla metà del 1970 fossero stati stilati progetti da parte di Associazioni

ambientaliste e protezionistiche per la realizzazione di un Parco Naturale, è inspiegabile come, seppure in possesso di tutti i requisiti, la Montagnola Senese non sia entrata a far parte del Sistema delle Riserve Naturali delle province di Siena e di Grosseto. Il suo inserimento tra le aree protette regionali avrebbe potuto accordare maggiore protezione agli habitat e alle componenti floristico-vegetazionali e faunistiche. In particolare si sarebbero potute redigere norme finalizzate alla conservazione degli habitat più importanti per le farfalle (ad esempio riducendo le attività di cava o programmandole in modo più adeguato) e al mantenimento di sufficienti livelli di eterogeneità ambientale, importanti per garantire la sopravvivenza di specie dipendenti sia dai boschi che dalle zone aperte, tutelando con particolare attenzione le "insule coltivate" (ad esempio attivando iniziative volte a rallentare i processi di evoluzione verso coperture forestali come il pascolamento controllato e il taglio regolato della vegetazione arbustiva e arborea).

Per fortuna buona parte di questi indirizzi gestionali è stata recepita dal Piano Territoriale di Coordinamento (PTC) della Provincia di Siena, entrato definitivamente in vigore nel marzo 2012: ci auguriamo che ciò sia sufficiente a garantire almeno un minimo di protezione a uno dei territori naturalisticamente e paesaggisticamente più interessanti del senese e dell'intera Toscana.

## Testi di riferimento

Club Alpino Italiano - Sezione di Siena (2008) - *Itinerari nella Montagnola Senese e Bosco di Lecceto*. Edizioni Multigraphic, Firenze, 1 carta.

Favilli L., Piazzini S. & Manganelli G. (2013) - I Ropaloceri della Montagnola Senese (Siena, Toscana meridionale) (Lepidoptera). *Bollettino della Società Entomologica Italiana*, 145: 69-86.

Ferretti G. (2012) - *Le farfalle delle Alpi*. Blu Edizioni srl, Torino, 351 pp.

Giusti F. (a cura di) (1993) - *La storia naturale della Toscana meridionale*. Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (Milano), 571 pp.

Lanfranchis T. (2004) - *Butterflies of Europe*. Diatheo, Paris, 351 pp.

Manganelli G. & Favilli L. (a cura di) (2001) - *La Montagnola Senese: una guida naturalistica*. WWF Sezione Regionale Toscana, Serie Scientifica, 7. 93 pp.

van Swaay C., Maes D., Collins S., Munguira M.L., Sasic M., Settele J., Verovnik R., Warren M., Wiemers M. & Wynhoff I. & Cuttelod A. (2011) - Applying IUCN criteria to invertebrates: how red is the Red List of European butterflies? *Biological Conservation*, 144: 470-478.

Tolman T. & Lewington R. (2009) - *The most complete field guide to the butterflies of Britain and Europe*. HarperCollins, London, 384 pp.

Villa R., Pellicchia M. & Pesce G.B. (2009) - *Farfalle d'Italia*. Compositori, Bologna, 375 pp.

# Viaggiando per musei



Foto di Giovanni Bencini.  
Follonica (GR)

## ***Above/Below Ground.*** **La fascinazione del contemporaneo all'Accademia dei Fisiocritici**

Ada Cattaneo

Siena Art Institute, via Tommaso Pendola 37, 53100 Siena; ada.cattaneo@gmail.com

Ancora una volta le collezioni e gli ambienti del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici hanno dimostrato la loro capacità di coinvolgere e affascinare esponenti di spicco della scena artistica contemporanea. Lo dimostra l'esposizione *Above/Below Ground (Sopra/Sotto Terra)* degli artisti statunitensi Mark Dion e Amy Yoes, qui ospitata dal 10 novembre 2013 al 14 febbraio 2014.

Questo legame fra il museo e la cultura del presente si era già dimostrato in altre occasioni, fra le quali si ricorda, nel 2007, lo spettacolo di danza a cura della Compagnia Virgilio Sieni, volto a proporre una riflessione sull'anatomia dedicata ai bambini proprio a partire dalle straordinarie tavole di Mascagni esposte nelle sale dell'Accademia<sup>1</sup>. E ancora, lo stesso contesto ha ospitato la rappresentazione teatrale del testo *Storie naturali*<sup>2</sup> di Edoardo Sanguineti nel 2006, alla presenza dell'autore.

L'esposizione *Above/Below Ground* rappresenta il culmine di un progetto molto più ampio che ha visto collaborare il Siena Art Institute Onlus – scuola d'arte a livello universitario che ospita studenti provenienti da tutto il mondo, oltre ad artisti affermati – con la Fondazione Musei Senesi (FMS), fra le istituzioni culturali di riferimento per il territorio. In particolare, i musei universitari raccolti nel SIMUS e quello dell'Accademia dei Fisiocritici hanno costituito il punto di partenza per un'analisi artistica del contesto cittadino partita dall'idea che esista una Siena sotterranea oltre a quella che si mostra in superficie. Le due facce della città coesistono e sono una comple-

mentare all'altra per determinare una situazione dalle peculiarità uniche nel loro genere. Il caso offerto dalla rete capillare dei bottini e dalle fonti disseminate con regolarità nell'area fuori e dentro le mura sarebbe sufficiente a confermare questa tesi. Ma, per portare un ulteriore esempio, si può fare riferimento anche alle caratteristiche geologiche del territorio senese che si rispecchiano nella varietà dei materiali da costruzione di cui da sempre l'architettura cittadina si è avvalsa.

I musei sono in grado di offrire testimonianza di questa tipicità poiché spesso, attraverso i secoli, si sono resi testimoni di ciò che accadeva nel loro ambiente di riferimento, offrendo agli studiosi reperti da utilizzare per meglio comprendere i luoghi che li circondavano. Le raccolte scientifiche hanno catturato l'attenzione di Mark Dion e Amy Yoes, artisti visivi con base a New York. Il primo è da sempre affascinato dall'idea di museo e ha fin dai suoi esordi incentrato la propria ricerca su questa istituzione intesa quale luogo in cui il sapere viene conservato per essere diffuso. Dion non esita a mettere in discussione le strutture teoriche che sottendono all'estetica museale. Il suo non è però un atteggiamento critico fine a sé stesso; è piuttosto la continua ricerca del modello che meglio permetta di utilizzare il museo quale strumento di conoscenza per chi ne sia desideroso. Le sue opere sono spesso veri e propri allestimenti creati secondo criteri di selezione del tutto inconsueti, ma applicando metodi strettamente scientifici: un esempio è lo scavo archeologico effettuato sul letto del fiume Tamigi a Londra per recuperare ogni genere di reperto – dalle monete



1. La mostra allestita nei locali del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici (sala 4): in primo piano alcuni strumenti provenienti dalle collezioni del CUTVAP; nel centro della sala teca contenente alcune copie di reperti preistorici provenienti dalle collezioni del Dipartimento di Preistoria dell'Università di Siena. (Foto Jacqueline Tune e Amy Yoes)

settecentesche alle bottiglie in plastica – poi catalogati secondo tassonomie ideate dall'artista<sup>3</sup>. Il risultato è stata un'esposizione presso il museo di arte contemporanea Tate Modern, una fra le molte celebri istituzioni che hanno ospitato i lavori di Mark Dion.

Anche Amy Yoes trae molte delle suggestioni alla base delle sue opere dal mondo naturale, con una attenzione particolare a quello dei minerali. A Siena ha avuto modo di collaborare assiduamente con l'unità di ricerca "Conservazione dei Beni Culturali" del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena, coordinata dal professor Marco Giamello, per realizzare opere grafiche e sculture ispirate proprio a queste nozioni, rielaborate in senso astratto. Le diverse superfici osservate nei minerali reperiti in provincia di Siena hanno costituito quindi per l'artista il punto di partenza per sviluppare particolari superfici pittoriche. In altri casi gli esemplari delle

collezioni cittadine sono stati utilizzati per realizzare veri e propri collages fotografici, che riuniscono strumentazioni mediche e rocce rinvenute nel Chianti, macchinari scientifici e sculture modellate per imitare fedelmente pietre locali tanto da trarre in inganno l'osservatore sulla loro autenticità.

A partire da queste riflessioni sul territorio, i due artisti hanno cominciato il lavoro con dodici studenti provenienti dalle Accademie di Belle Arti di Stati Uniti, Gran Bretagna e Italia<sup>4</sup>, selezionati espressamente per prendere parte a questo progetto presso il Siena Art Institute. Il gruppo così formato ha quindi fatto conoscenza con la città, alla scoperta dei suoi luoghi emblematici e di quelli meno noti. L'idea che li ha sempre accompagnati è stata che il valore di una spedizione non dipenda dalla singolarità della meta, quanto piuttosto dal metodo che si utilizza per scoprirla e che si possa quindi svolgere anche in un luogo urbanizzato e accessibile quale è Siena.



2. Sala 2: sul tavolo alcune opere dei docenti del Siena Art Institute realizzate per il progetto *Above/Below Ground*. Alle pareti alcuni dei diagrammi didattici realizzati dagli studenti del Siena Art Institute. (Foto Jacqueline Tune e Amy Yoes)

Gli studenti hanno così avuto la possibilità di lavorare all'interno delle strutture museali senesi che hanno aderito al progetto – Museo Nazionale dell'Antartide, Museo del Centro Universitario per la Tutela e la Valorizzazione dell'Antico Patrimonio Scientifico Senese (CUTVAP), Museo di Preistoria, Archeologia Classica e Medievale, Museo del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente e Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici – trascorrendo lunghi periodi a osservare e studiare le loro collezioni.

Le opere realizzate dagli artisti sono state concepite proprio in risposta al dialogo creato con gli oggetti osservati, cogliendone sia gli aspetti formali che quelli metodologici, legati alle discipline scientifiche di riferimento. È nata così l'idea di realizzare una serie di diagrammi didattici ispirati ad una serie di tavole entomologiche realizzate negli anni sessanta e ancora conservate presso il

CUTVAP: si tratta, per intendersi, di quelle tavole didattiche di grandi dimensioni, incorniciate da due stecche di legno orizzontali, che fino a pochi anni fa si potevano trovare appese alle pareti delle aule per illustrare agli allievi temi quali l'anatomia del corpo umano o la struttura delle cellule. Gli studenti del Siena Art Institute ne hanno creato una loro personale versione, spaziando entro moltissimi ambiti della scienza ed inventando organismi e settori disciplinari del tutto inconsueti. È questo il caso di una nuova e immaginaria specie di pinguino – lo *Spheniscus Sinensis Sinteticum* – di cui sono state rappresentate diffusione e caratteristiche; oppure dell'analisi dell'ipotetica rete idrica del pianeta Marte, ricostruita proprio sul modello dei Bottini senesi.

Queste sono tra le opere nate dalla collaborazione descritta ed esposte in occasione della mostra *Above/Below Ground* in dialogo con molti di quegli esemplari che ne sono stati fonte d'i-

3. Sala 2: nelle teche sono esposti alcuni degli oggetti messi a disposizione dal CUTVAP e dal Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena.  
(Foto Jacqueline Tune e Amy Yoes)



spirazione e poi messi a disposizione dai musei partecipanti per la durata della manifestazione: si passa dai meteoriti raccolti dal gruppo di ricerca del Museo Nazionale dell'Antartide a una macchina della verità utilizzata fino agli anni sessanta e proveniente dalle collezioni di Psicologia dell'Università di Siena, dai modelli cristallografici del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente agli antichi strumenti oftalmologici conservati dal CUTVAP.

Gli artisti Dion e Yoes hanno inoltre realizzato per l'occasione una serie di disegni e *collages* prodotti a “quattro mani” e sviluppati proprio a partire dall'idea di museo di storia naturale e dalla fascinazione estetica che esso può esercitare.

L'ultima tappa del progetto *Above/Below Ground* ha permesso di aprirsi ulteriormente al territorio:

anche le classi delle scuole superiori della provincia di Siena hanno potuto aderire all'iniziativa. Un laboratorio appositamente ideato per loro, che ha previsto una visita guidata presso la mostra e una serie di attività creative e laboratoriali presso gli istituti scolastici che ha portato alla realizzazione, da parte degli allievi, di testi, video, disegni e sculture realizzati sui temi dell'esposizione. Una selezione dei lavori migliori è stata infine esposta presso gli spazi del Siena Art Institute in occasione della Festa dei Musei Scientifici 2014. In tal modo anche gli studenti più giovani hanno avuto modo di guardare al patrimonio scientifico senese tramite la mediazione di artisti contemporanei di livello internazionale, con l'opportunità di confrontarsi a loro volta con il pubblico grazie alla loro capacità di essere autenticamente creativi.

## Note

<sup>1</sup> Ossicino. *Sguardi poetici sul corpo umano*, laboratorio per l'infanzia condotto da Virgilio Sieni e Caterina Poggesi e curato dalla compagnia Virgilio Sieni presso le sale del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici e del Santa Maria della Scala.

<sup>2</sup> *Storie naturali*, testo di Edoardo Sanguineti, compagnia Arena del Sole-Nuova Scena, Bologna. Regia di Claudio Longhi, rappresentata nel marzo 2006 presso le sale del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici

<sup>3</sup> Il lavoro è noto come *Tate Thames Dig* e fu svolto nel 1999

<sup>4</sup> La partecipazione degli studenti dalle Accademie di Belle Arti di Firenze e di Carrara è stata possibile grazie al sostegno di Regione Toscana. Il progetto *Above/Below Ground* è infatti stato sostenuto dalla Regione nell'ambito del bando Toscana Incontemporanea.

## NORME PER GLI AUTORI

La rivista si articola nelle seguenti parti:

### LA PAGINA DELL'ACCADEMIA

Riservata a tutto quanto concerne l'Accademia delle Scienze di Siena detta dei Fisiocritici.

### CONTRIBUTI

Comprende articoli sui più svariati aspetti del patrimonio naturale, con particolare riferimento a quello della Toscana meridionale.

### IL PUNTO DELLA SITUAZIONE

Ospita articoli che fanno il punto su qualsiasi iniziativa riguardante la conoscenza, la tutela, la valorizzazione e la gestione del patrimonio naturale.

### ORIZZONTI

Ospita idee, progetti e interventi su argomenti relativi al patrimonio naturale che meritano di essere spiegati e approfonditi.

### IO, IL LETTORE

Spazio aperto per opinioni, domande, critiche ecc.

### LA PAROLA ALL'IMMAGINE

Spazio riservato a illustrazioni fotografiche su uno specifico tema di carattere naturalistico, di volta in volta indicato dal periodico.

### SCHEDE NATURALISTICHE

Articoli dedicati a specifici elementi del patrimonio naturale: ad es. una specie minerale, vegetale o animale, un bosco, un ghiacciaio, un bacino fluviale ecc.

### VIAGGIANDO PER MUSEI

Sezione riservata alla Fondazione Musei Senesi e specificamente rivolta ai musei di carattere scientifico naturalistico.

### ETRURI@NATURA

Spazio aperto ad argomenti relativi al patrimonio naturale con riferimento al web.

Tutti gli articoli, completi di illustrazioni e didascalie, devono essere redatti secondo le seguenti modalità:

- titolo generale: font Helvetica, grassetto, corpo 12;
- nome dell'autore/i: sotto al titolo in font Helvetica, corsivo, corpo 12;

- recapito ed eventuale e-mail dell'autore/i: sotto al nome/i in font Helvetica, tondo, corpo 12;
- il testo va caratterizzato in font Helvetica, corpo 12, interlinea 13, capoversi con rientro, titoli dei capitoli in grassetto staccati dal testo successivo, titoli dei sotto-capitoli in maiuscolo non staccati dal testo successivo;
- il testo può essere fatto precedere da un flash introduttivo (non un riassunto) che ne faccia emergere il contesto di origine: scritto che dovrà essere in font Helvetica, corpo 12, interlinea 13 e indicato in colore;
- eventuali note vanno messe a fine documento prima delle citazioni bibliografiche;
- i riferimenti bibliografici nel testo vanno scritti tra parentesi con il solo cognome dell'autore/i seguito dall'anno di pubblicazione, es.: (Rossi 1982); (Rossi & Bianchi 1991); quando gli autori sono più di due: (Rossi et al. 1994, 1998);
- le citazioni bibliografiche per esteso – presentate, a seconda dei casi, come “Testi citati”, “Testi consultati” o “Testi di riferimento e approfondimento” – devono essere poste alla fine del documento. Esempi: Raup D.M. & Stanley S.M. (1971) - Principles of Paleontology. Freeman, New York; Longo G. (2007) - The Tunguska Event. Comet/Asteroid Impacts and Human Society (Bobrowsky P.T. & Rickman H., eds.), 303-330, Springer, Berlin/Heidelberg; Del Zanna P. (1899) - I fenomeni carsici nel bacino dell'Elsa. Boll. Soc. Geol. Ital., 18: 315-323; Galassi S., Rossi M. & Provini A. (1993) - Metalli pesanti e microinquinanti organici nei sedimenti e negli organismi del Po. Acqua Aria, 23 (2): 619-625. Quando i testi sono pubblicati in riviste, i titoli di queste vanno messi in tondo; seguono il numero del volume, il numero tra parentesi dell'eventuale fascicolo di volume e, dopo due punti, la pagina iniziale e finale dell'articolo collegate da una lineetta;
- le illustrazioni dovranno avere una risoluzione non inferiore a 300 dpi ed essere collocate in file separati da quelli del testo delle loro didascalie.

Gli articoli, trasferiti su CD e accompagnati a una loro copia cartacea, dovranno essere inviati a: **Etruria*natura***, Accademia dei Fisiocritici, piazzetta Silvio Gigli, 2 - 53100 Siena (tel./fax 0577.47002; e-mail: [etrurianatura@unisi.it](mailto:etrurianatura@unisi.it)).

Il Comitato editoriale si riserva ogni facoltà di accettarli e, senza alterarne in alcun modo i contenuti, di apportarvi eventuali modifiche per armonizzarli con il carattere della rivista. In ogni caso, prima di essere pubblicati i testi saranno trasmessi via e-mail agli autori per la loro ultima revisione e approvazione.



Silvana Editoriale Spa

via Margherita De Vizzi, 86  
20092 Cinisello Balsamo, Milano  
tel. 02 61 83 63 37  
fax 02 61 72 464  
[www.silvanaeditoriale.it](http://www.silvanaeditoriale.it)

Le riproduzioni, la stampa e la rilegatura sono state eseguite presso lo stabilimento Arti Grafiche Amilcare Pizzi Spa Cinisello Balsamo, Milano

Finito di stampare  
nel mese di dicembre 2014