



Etrurianatura

una finestra sul territorio

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena

Anno VIII - 2011

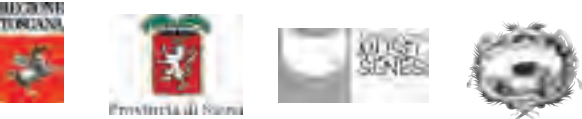
SilvanaEditoriale

Etrurianatura

Accademia dei Fisiocritici onlus
Piazzetta Silvio Gigli, 2 - 53100 Siena
Tel. e fax: 0577 232801
E-mail: etrurianatura@unisi.it

Registrazione Autorizzazione del Tribunale di Siena n. 747 del 19-1-2004	Comitato editoriale <i>Vincenzo de Dominicis</i> Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali “G. Sarfatti”, via P.A. Mattioli 4 - 53100 Siena. Tel. 0577 232864 <i>Roberto Fondi</i> Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina 8 - 53100 Siena. Tel. 0577 233839
Direttore responsabile <i>Michele Galassi</i>	
Responsabili scientifici <i>Roberto Fondi</i> <i>Roberto Mazzei</i>	

Il volume è una produzione Fondazione Musei Senesi
realizzata con il contributo del Piano Integrato della Cultura Regione
Toscana 2010 e della Provincia di Siena



In copertina
Golfo di Follonica: ondulazioni del fondo (*ripple-marks*) e tracce di abitazione (*domichnia*)
prodotte da vermi, messe in evidenza dalla bassa marea (foto “Il Graffio”, Follonica)

Retro copertina
Golfo di Follonica: falesia nei pressi di Cala Martina (foto “Il Graffio”, Follonica)



Silvana Editoriale

Progetto e realizzazione
Arti Grafiche Amilcare Pizzi Spa

Direzione editoriale
Dario Cimorelli

Art Director
Giacomo Merli

Redazione
Lara Mikula

Impaginazione
Piero Giussani

Coordinamento organizzativo
Michela Bramati

Segreteria di redazione
Emma Altomare

Ufficio iconografico
Alessandra Olivari, Michela Pittaluga

Ufficio stampa
Lidia Masolini, press@silvanaeditoriale.it

Nessuna parte di questo volume 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

© 2011 Accademia dei Fisiocritici onlus, Siena
© 2011 Silvana Editoriale Spa
Cinisello Balsamo, Milano

Roberto Mazzei
Università degli Studi di Siena, Dipartimento
di Scienze della Terra, via Laterina 8 -
53100 Siena. Tel. 0577 233801
Luana Paulesu
Università degli Studi di Siena, Dipartimento
di Fisiologia, via A. Moro - 53100 Siena.
Tel. 0577 234224

Sommario

Presentazione

La pagina dell’Accademia

- 8 La biblioteca dell’Accademia dei Fisiocritici. Se un visitatore, entrando...
Paola Martelli

Contributi

- 16 Osservare la natura tra un atomo e l’altro
Neri Niccolai
- 22 I minerali argillosi quali indicatori per ricostruire il clima del passato
Francesco Iacoviello
- 32 Mineralogia e salute: la questione amianto
Cecilia Viti
- 40 Monitoraggio 2010 dei parametri chimici, fisici e biologici della Laguna
di Orbetello
Francesca Borghini, Luisa Lucattini, Valerio Volpi, Silvia Focardi,
Silvano Focardi, Simone Bastianoni
- 48 Il degassamento naturale di CO₂ in Italia
Maria Luce Frezzotti

- 56 Gli stagni del Monte Labro: un supporto per la biodiversità
Elena Mari, Elisa Santi, Sandro Piazzini

Il punto della situazione

- 62 Oltre l'evoluzionismo: verso una concezione olistica e archetipale
del divenire dei viventi
Roberto Fondi

Orizzonti

- 78 Un progetto per l’Isola di Pianosa
Alessandra Contiero, Fausto Foresi, Luca Maria Foresi, Giuseppe Mazzei Braschi,
Alessandro Olschki, Paolo Notarbartolo di Sciara, Gianpaolo Spinelli

Io, il lettore

- 96 Le chiocciole da allevamento: risorse alimentari di tutto rispetto
Roberto Dante Bredice

La parola all’immagine

- 104 Alla scoperta delle antiche cave di allume nel Parco Interprovinciale di Montioni
Gruppo fotografico “Il Graffio”, Follonica

Schede naturalistiche

- 110 Un anno a Bosco Rocconi
Roberta Margiacchi

Viaggiando per musei

- 118 I musei delle Terre di Siena

Etruri@natura

- 130 La ri-mediazione digitale nell’esperienza museale
Marco Pozzi

Presentazione



Giovanni Guasparri

Caro Gianni,

quanto era inevitabile che accadesse è puntualmente avvenuto.

Carissimi amici comuni mi sollecitano affinché io scriva un ricordo di te.

Quante volte, scherzandoci sopra, abbiamo configurato questo momento e provato a ipotizzare chi di noi due avrebbe dovuto viverlo per l'altro.

Tutti infatti sapevano del nostro strettissimo, straordinario sodalizio iniziato quando eravamo ancora studenti e proseguito ininterrottamente fino a quel maledetto 11 gennaio scorso. Era quindi, appunto, inevitabile che al “sopravvissuto” venisse fatta questa richiesta. Non potevano sapere, neppure gli amici a noi più vicini, che ci eravamo promessi di non farlo, forse perché entrambi avvertivamo come insopportabile che si interponesse tra noi quell'alone di formalismo che necessariamente pervade un necrologio, comunque concepito. Tra l'altro eravamo ben consapevoli che non avremmo potuto farlo seguendo i modelli consueti in cui si esaltano le qualità umane dello scomparso e al contempo si massimalizzano i suoi meriti professionali. Per le prime, ove osassi ora io anche solo accennarvi, stimolerei di sicuro la tua ben nota e dissacrante ironia e ciò basta a dissuadermi dal farlo; quanto ai meriti scientifici, visto che abbiamo quasi sempre fatto ricerca e scritto i lavori insieme, se mi mettessi a magnificare i risultati da te ottenuti loderei automaticamente anche me stesso e questo proprio non si può fare.

Pur in questa paradossale situazione, non sono, tuttavia, stato capace di dire un no deciso agli amici di “Etrurianatura” e in particolare a Roberto Mazzei, alla cui “dolce violenza”, che usa quando vuole ottenere qualcosa, è quasi impossibile resistere, come anche tu sai bene.

Mi scuso quindi con te se vengo meno al nostro patto. D'altra parte, ti confesso, in questi tre interminabili mesi (mai siamo stati separati così a lungo) il desiderio di parlarti è venuto crescendo via via più intenso e ciò soprattutto quando mi sono messo a riordinare le “vecchie carte”, com'è d'uso fare quando si va in pensione. Ho così ritrovato e sfogliato anche gli incartamenti, accumulati nel tempo, dei nostri lavori e ripercorso i tanti temi di ricerca affrontati insieme.

Dalle vulcaniti dell'Alto Adige alle metamorfiti e soprattutto ai graniti della Sardegna e della Corsica, alle mineralizzazioni a tungsteno e molibdeno associate ai leucograniti, a quelle a piombo e zinco dei calcari dell'Iglesiente, alle piriti della Toscana, alle argille plioceniche del Bacino di Siena ecc. ecc. fino alla miriade di lavori, editi e non, sui temi della conservazione dei monumenti, temi sui quali ci ha raggiunto la vecchiaia e con essa la pensione.

Non provo neppure a dirti quello che mi è passato per la mente in quanto, ne sono certo, lo immagini perfettamente. Sì, perché, nonostante la totale diversità dei nostri caratteri, è da sempre esistito tra noi un “simil sentire” in tutti gli ambiti che la vita propone: da quello familiare a quello più variegato delle relazioni umane, a quello della politica e persino a quello della religione dove abbiamo condiviso la scomodissima posizione di non credenti e al tempo stesso di non atei, nell'incapacità di entrambi di accettare un credo comunque fideistico.

Ci consolavamo, ricorderai, su questo punto, cercando di convincerci che, per lo meno, questa era la migliore posizione mentale per chi si mette a fare ricerca scientifica e cioè quella di chi non ha, perché non può avere, dogmi precostituiti e cerca solo di capire, senza altri scopi se non quello della soddisfazione di esserci eventualmente riusciti. Emblematico, in questo senso, il nostro primo lavoro in cui cercavamo di trovare un metodo rigoroso per definire l'errore

“vero” di un’analisi modale al contatore di punti. Anche di questo ho ritrovato il voluminoso incartamento con quella incredibile quantità di conteggi (fatti con una, oggi patetica, calcolatrice meccanica) solo per i quali avevamo consumato un’intera estate!

Quel lavoro non ha certo rivoluzionato la scienza e quel metodo, da noi messo a punto e testato con tanta fatica, non ha trovato molti proseliti. Giustamente, perché troppo time consuming rispetto ai benefici che poteva comportare. Eppure, noi abbiamo continuato a considerarlo uno dei lavori che ci ha dato maggiore soddisfazione proprio perché eravamo riusciti a comprendere il complesso intreccio dei termini del problema e, per di più, anche a risolverlo.

Non so se quanto ho inteso esprimere con questo personalissimo sfogo potrà essere compreso da chi dovesse mai leggere queste righe e tanto meno, quindi, so se gli amici di “Etrurianatura” riterranno di porlo, come ricordo di te, nelle pagine della rivista alla quale hai dedicato, con passione, gli ultimi sprazzi della tua attività intellettuale.

Francamente li capirei se non lo facessero e, forse, per quanto ho cercato di dire all’inizio, lo preferirei.

Un abbraccio.

Giuseppe

Siena, aprile 2011

La commozione comunicatoci dalla testimonianza di affetto del prof. Giuseppe Sabatini nei confronti dello scomparso prof. Giovanni Guasparri, esponente di spicco del Comitato, ci impone di entrare quasi come in silenzio e in punta di piedi nello spazio di presentazione di questo nuovo numero di “Etrurianatura”, che ovviamente deve ritenersi dedicato al ricordo del nostro comune amico e collega. A differenza dei numeri passati, quindi, non ci soffermeremo a commentare sia pur brevemente i vari articoli; ci limiteremo soltanto a informare i lettori della comparsa della nuova rubrica *Viaggiando per musei* aperta ai contributi della Fondazione Musei Senesi, la quale da oggi finanzierà la pubblicazione della rivista presso Silvana Editoriale.

Il Comitato editoriale



La pagina dell'Accademia



Golfo di Follonica:
effetti del vento sulla pineta costiera
(foto "Il Graffio", Follonica)

La biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici. Se un visitatore, entrando...

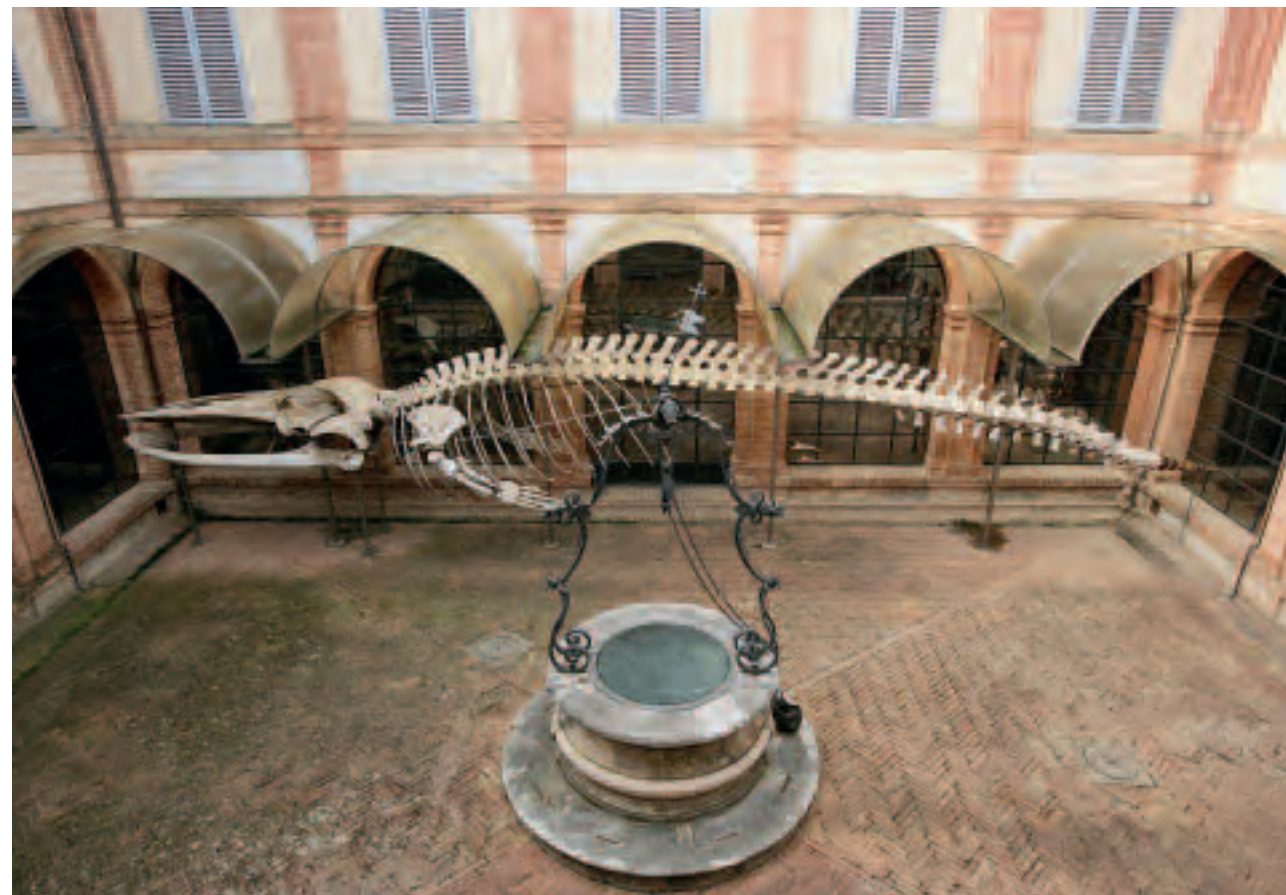
Paola Martelli

Biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici, piazzetta S. Gigli 2 - 53100 Siena
prof.paola.martelli@gmail.com

Un visitatore che per la prima volta entra nell'Accademia dei Fisiocritici senza dubbio rimane subito colpito dall'imponente scheletro di una balenottera che occupa un lato del cortile interno del seicentesco chiostro (fig. 1). All'interno di questo, ampie vetrine hanno trasformato i corridoi in riparati spazi espositivi, dove vetrine ottocentesche ospitano innumerevoli esemplari di minerali, rocce e fossili. Percorrendoli, cresce l'atmosfera propria di un museo di storia naturale dalla cornice suggestiva. Una porta laterale sempre aperta invita il visitatore a varcarne la soglia e completare così il suo percorso prima di salire ai piani superiori densi di promesse.

Se il visitatore, entrando in quel locale dedicato ad Ambrogio Soldani, illustre scienziato fisiocritico, punta la sua attenzione sul bel mobile-vetrina al centro della sala, inevitabilmente nota accanto a un'importante collezione di microfossili, un corposo volume aperto, palese-

mente esplicativo dello studio del materiale esposto. Si tratta del volume settecentesco con le incisioni dell'opera monumentale *Testaceographiae ac Zoophytographiae parvae et microscopicae*, scritta da Soldani dopo 41 anni dedicati alla raccolta e allo studio di sedimenti provenienti da località prevalentemente toscane (fig. 2). Ed ecco che, nell'attigua sala Francesco Valenti Serini, altro illustre accademico, antichi cataloghi di funghi disegnati e colorati accompagnano un'originale collezione ottocentesca degli stessi esemplari riprodotti in terracotta (fig. 3): sono primi segnali che svelano nell'Accademia la presenza di un patrimonio librario. Seguendo poi il percorso attraverso le altre due sale intitolate anch'esse a eminenti accademici fisiocritici – Biagio Bartalini e Pirro Maria Gabbrielli –, tra arredi d'epoca e particolari oggetti legati a storici avvenimenti della vita accademica, si presentano agli occhi del visitatore eleganti armadi-



1. Il chiostro con lo scheletro di esemplare giovane di balenottera comune

vetrina colmi di file e file di libri dai dorsi datati da lunga vita (fig. 4). Se era troppo poco per semplici segnali e supposizioni, il visitatore può ora pensare che esista nell'Accademia dei Fisiocritici una biblioteca, capace anche di integrarsi nelle mille storie dei reperti museali.

Cenni storici

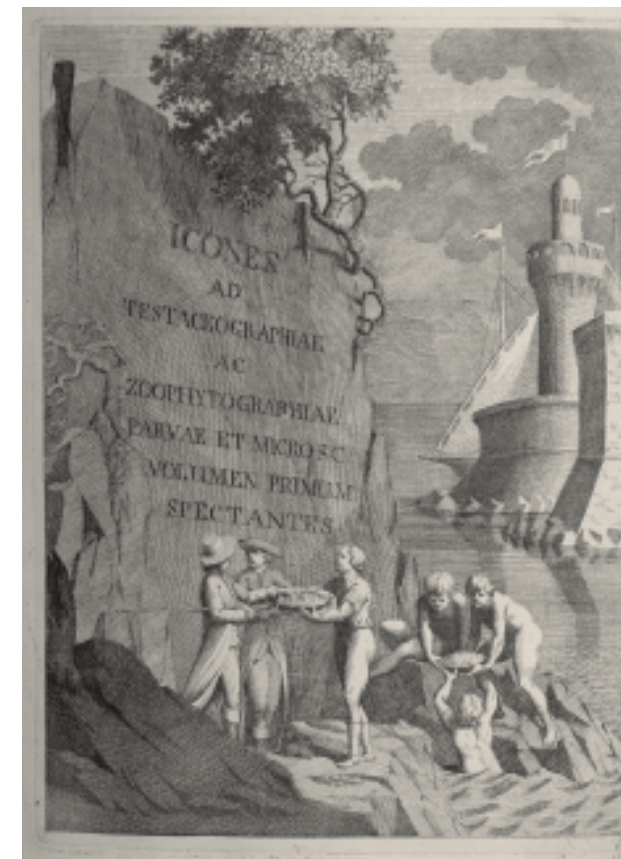
Il nome dell'Accademia dei Fisiocritici e la sua capacità di attrazione sono da sempre strettamente e meritamente legati soprattutto al suo Museo di Storia Naturale. Meno noti rimangono la sua biblioteca e il suo archivio storico, nonostante vantino un patrimonio di assoluto rilievo per la storia della scienza. La ragione di ciò si può trovare considerando alcuni tratti essenziali della loro storia.

Non esiste per la biblioteca un 1691, data di fondazione dell'Accademia a opera di Pirro Maria Gabbrielli, anche se, in un tale consesso di dotti e colti fisiocritici che si dichiarano aperti al dibattito scientifico di ampio respiro, si è autorizzati a dedurre che vi sia stato fin dall'inizio un punto di conservazione dedicato a volumi, pubblicazioni sulle varie branche del sapere e altro materiale librario non solo legato alle loro ricerche. Anche la tipologia del suo attuale posseduto sembrerebbe confermarlo.

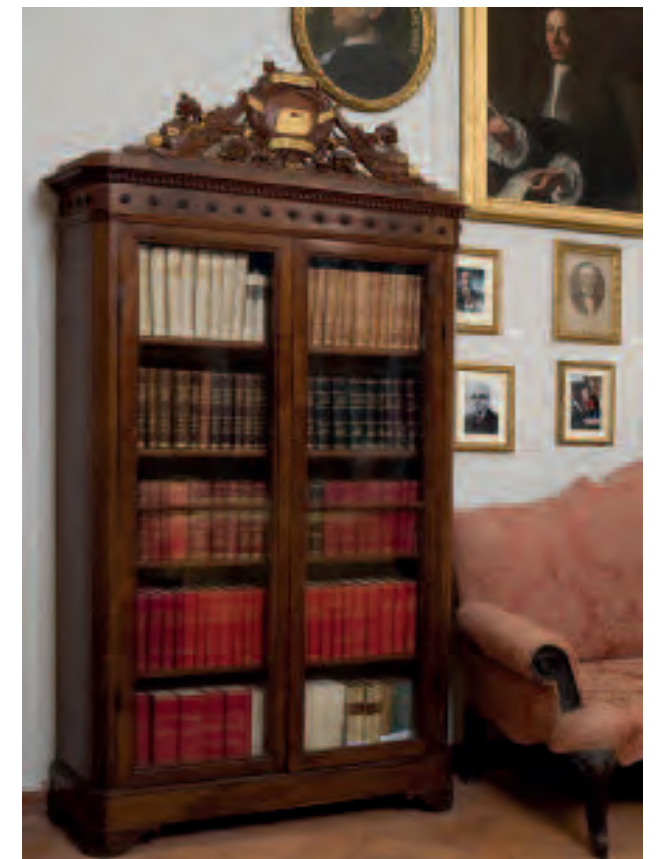
Tuttavia, è solo nella seconda metà del XIX secolo che nei documenti di archivio appare ufficialmente la



3. Sala Valenti Serini: particolare della collezione ottocentesca di funghi in terracotta con antichi cataloghi (foto G. Donati)



2. Volume dell'opera di Ambrogio Soldani *Testaceographiae ac Zoophytographiae parvae et microscopicae*, Siena 1789-1798 (foto G. Donati)



4. Sala Gabbrielli: scaffale con il periodico "Gli atti dell'Accademia delle scienze di Siena detta de' Fisiocritici" (foto G. Tatge)



5. Frontespizio del volume di André Vésale, *De humani corporis fabrica*, Basilea 1555

presenza fisica di una biblioteca attivamente partecipe a una feconda iniziativa di contatti e scambi di pubblicazioni tra molte prestigiose istituzioni scientifiche nazionali e internazionali.

Da allora, i suoi scaffali si arricchiscono rapidamente di pubblicazioni provenienti da Danimarca, Svezia, Norvegia, Finlandia, Russia, Irlanda, Gran Bretagna, Francia, Belgio, Svizzera, Germania, Austria, Spagna, Portogallo, Egitto e anche altri paesi d'oltreoceano quali Argentina, Brasile, Stati Uniti, Messico, Canada. Reciprocamente, le biblioteche di quei paesi conoscevano e apprezzavano la rivista *Gli Atti dell'Accademia delle scienze di Siena detta de' Fisiocritici*, iniziata nel 1761. Con diverse minime varianti del titolo apportate lungo i secoli, la rivista è arrivata in quest'anno a festeggiare 250 anni di vita, un record di longevità per una rivista scientifica italiana. Dal 2009 esce, completamente rinnovata nella grafica e nei contenuti, con il titolo *Journal of the Siena Academy of Sciences*.

Il patrimonio

Il posseduto della biblioteca, con opere raramente rintracciabili in altre biblioteche del territorio senese, è attualmente stimato in circa 36.000 volumi fra monografie, miscellanee e annate di periodici, con 160 testate di periodici correnti e circa 1000 cessate. Sono da quantificare esattamente i 21 fondi costituiti quasi tutti per donazione a partire dal XIX secolo. Ultimo in ordine cronologico il fondo senese del botanico Rodolfo Pichi Sermolli, studioso e ricercatore di livello internazionale, che ha permesso di arricchire la sezione botanica con circa 900 volumi e 9000 miscellanee.

I volumi più antichi della biblioteca sono due *post incunaboli* entrambi del 1502: la *Historia corporis humani* di Alessandro Benedetti e il *Liber anathomie corporis humani* di Gabriele Zerbo del fondo Paolo Mascagni. Quest'ultimo contiene pubblicazioni dei secoli XVI-XIX, costituite da circa 1000 monografie, 113 miscellanee e 35

6. Ritratto di Robert Boyle nella sua *Opera omnia* del 1696-1697



testate di periodici. Tra le tante e mirabili opere che hanno come autore lo stesso Mascagni ci si limita qui a ricordare l'*Anatomia per uso degli studiosi di scultura e pittura* del 1816, corredata da magnifiche tavole a colori *in folio*.

Il patrimonio

**Circa 36.000 volumi fra monografie, miscellanee, annate di periodici;
160 testate di periodici correnti;
1.000 testate di periodici non più attivi.**

21 i fondi librari costituiti quasi tutti per donazione a partire dal XIX secolo.

Nel patrimonio della biblioteca si trovano esempi emblematici di pubblicazioni rare o prestigiose provenienti da città italiane ed europee con grande tradizione editoriale. Tra questi esempi sono da citare: il famoso trattato anatomico *De humani corporis fabrica* (stampato a Basilea nel 1555) di André Vésale, il quale dedica la sua opera all'imperatore Carlo V che lo aveva nominato medico imperiale alla sua corte (fig. 5); il *Canon medicinae* di Avicenna pubblicato a Venezia dal grande editore Giunti nel 1595; l'*Opera omnia* di Robert Boyle pubblicata da Giovanni Giacomo Hertz a Venezia nel 1696-1697 (fig. 6). Vi si trovano anche cronache e studi scientifici basati su fenomeni naturali locali, come ad esempio la *Relazione del terremoto accaduto in Siena il dì 26 Maggio 1798* e *Sopra una pioggia di sassi accaduta nella sera de' 16 Giugno del MDCCXIV in Lucignan d'Asso nel Sanese* del 1794, entrambi di Ambrogio Soldani.

Da ricordare, infine, la già citata rivista *Gli Atti* a par-



7. Aula Magna: parete con libreria di storici periodici scientifici (foto G. Tatge)

tire dal suo primo settecentesco fascicolo. Lungi dall'essere solo un nobile trofeo dai contenuti obsoleti e inutili, i volumi della sua prima serie storica sono fonte di preziose notizie per l'attento lettore che li consulti. Già dai primi articoli si può comprendere come i loro autori avessero una visione estremamente chiara di come condurre la ricerca scientifica: interessantissime le osservazioni sulle prime esperienze della vaccinazione contenute nel primo volume, mentre nel secondo è possibile rilevare la corretta esposizione di casi clinici felicemente risolti con i miseri mezzi del tempo, così come la documentazione esauriente dei casi più gravi sottoposti a esame autoptico. Sempre nel secondo volume si trovano anche interessanti studi di ingegneria e matematica.

Tenuto poi conto che la rivista arriva ininterrotta fino ai nostri giorni, la si può considerare una fonte di grande interesse anche per la documentazione dell'attività scientifica svolta nella nostra città.

Riviste, pregevoli trattati di storia della medicina e di scienze naturali, tavole, disegni e schemi di geniali macchine per dimostrazioni scientifiche che costituiscono il posseduto della biblioteca e dell'archivio storico, tutto ciò è stato acquisito tramite donazioni, lasciti, scambi con altre istituzioni scientifiche italiane ed estere, raramente grazie ad acquisti.

La presenza di questo patrimonio è visibile a ogni piano dell'Accademia: al pianterreno, nelle sale del percorso museale e nell'Aula Magna, dove la parete di fondo è quasi interamente coperta da una grande libreria contenente storici periodici di discipline scientifiche (fig. 7); al primo piano, nelle cinque sale della biblioteca, dove è collocata la gran parte del patrimonio costituito da

monografie antiche e moderne, miscellanee, la collezione de *Gli Atti*, periodici correnti e non più attivi; salendo ancora, nella suggestiva sala Paolo Mascagni, dove le pareti sono tappezzate da tavole anatomiche a grandezza naturale riprese dalla *Anatomia universa* del grande scienziato fisiocritico, la cui ricca biblioteca è in parte visibile nel piano-mansarda che sovrasta la sala (fig. 8).

Purtroppo tanti altri e preziosi volumi non possono essere consultati perché in attesa di un'accessibile e dignitosa collocazione.

Carattere e attività

La biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici è una biblioteca di conservazione a carattere storico-scientifi-

Orario

La biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici è consultabile

- al mattino dalle 9.00 alle 13.30, dal lunedì al venerdì,
- e nei pomeriggi di lunedì e martedì dalle 15.00 alle 18.00,
- su appuntamento ai numeri 0577.232801, 0577.47002
- oppure all'indirizzo: fisiocritici@unisi.it.

8. Mansarda con parte del Fondo Paolo Mascagni e l'Archivio storico (foto Lensini)



co. Fin dall'inizio, in coerenza con la natura dell'istituzione a cui appartiene, le pubblicazioni possedute riguardano quasi esclusivamente la medicina, la farmacia, le scienze naturali, l'agricoltura, la fisica, la matematica e la chimica.

Ciò non significa però una biblioteca statica, ferma al ruolo di custode dell'antico. Ha infatti una sua vitalità poiché conserva il proprio patrimonio non solo per tramandarlo alle future generazioni, ma anche per renderlo disponibile per studi, tesi di laurea, dottorati di ricerca, *masters* specialistici o per ricerche di studiosi italiani e stranieri.

Attività preminente della biblioteca è senza dubbio quella di trovare i modi per rendere fruibile tutto il suo prezioso patrimonio. Nonostante la penuria di risorse umane ed economiche, è possibile portare avanti alcu-

ni progetti grazie al tessuto di relazioni istituzionali create dalla biblioteca soprattutto nell'ultimo decennio.

Per uno storico rapporto di collaborazione con l'Università di Siena, la biblioteca partecipa da oltre dieci anni al programma di coordinamento del Sistema Bibliotecario di Ateneo (SBA), partecipazione che sta per essere formalizzata da uno specifico accordo all'interno della convenzione che lega le due istituzioni. L'accesso a tale programma, supportato dalle più moderne apparecchiature tecnologiche del settore informatico e dall'alta professionalità del personale specializzato, consente di effettuare quelle importanti operazioni, quali la catalogazione e la digitalizzazione, necessarie per l'accessibilità e la conservazione del patrimonio bibliografico e archivistico.

Il lavoro è *in itinere* e al momento è inserita in rete solo una parte modesta del posseduto. A oggi, all'indirizzo <http://www.sba.unisi.it>, per la biblioteca si trovano catalogati alcuni fondi, le monografie storiche, quasi tutti i periodici attivi; per l'archivio storico i verbali delle sedute accademiche e le memorie scientifiche dei secoli XVIII-XX, serie archivistiche che sono anche digitalizzate.

La biblioteca mantiene contatti con raccolte e istituzioni scientifiche nazionali e internazionali con cui ancora, oggi come ieri, si effettuano scambi di pubblicazioni. Coopera con enti locali e nazionali nell'ambito di progetti di restauro e tutela del materiale librario, di catalogazione informatica e digitalizzazione. Tra questi, ad esempio, il censimento nazionale delle edizioni italiane del XVI secolo promosso dal Ministero per i Beni e le Attività culturali; il censimento e recupero catalo-

Servizi

- Sala di lettura per consultazione in loco. Prestito non ammesso.
- Fotocopiatura di materiale librario a partire dal secolo XX.
- Ricerca nel catalogo unico <http://www.asb.unisi.it/sbs/>, Servizio Bibliotecario Senese.

Riproduzioni possono essere autorizzate secondo le norme previste da uno specifico regolamento.



9. Tavole del Fondo Mascagni stampate nella copertina e nella contro-copertina del catalogo della mostra *Spectacular bodies*, Londra 2000-2001 (foto G. Donati)

grafico delle opere del XVI secolo conservate nelle biblioteche toscane, voluto e coordinato dalla Regione Toscana; il censimento dei documenti dell'archivio storico, condotto per e in collaborazione con la Soprintendenza Archivistica per la Toscana; il censimento, l'inventariazione e la catalogazione dei periodici attivi, realizzato con il contributo della Provincia di Siena.

La particolarità del suo patrimonio, la sua storicità e la sua dimensione medio-piccola rendono la biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici assai appetibile a giovani stagisti di master e progetti formativi promossi da università, enti locali e servizio civile nazionale, che qui trovano la possibilità di avere un'idea generale del complesso lavoro svolto in una biblioteca.

Essa gioca un ruolo attivo anche in varie manifestazioni culturali e ha un modo tutto suo di far conoscere il proprio patrimonio al grande pubblico: è infatti anche una preziosa fonte iconografica che fornisce molte delle immagini simbolo delle iniziative culturali dell'Accademia riprodotte sui relativi manifesti, inviti e *dépliants*. Esemplari del posseduto sono oggetto di mostre non solo nei locali dell'Accademia, ma anche, su richiesta, in esposizioni di livello nazionale e internazionale. Solo due esempi: la mostra *Impatto! Meteoriti, comete, asteroidi verso la Terra*, allestita a Milano in palazzo Bagatti Valsecchi dal 28 settembre al 10 novembre 2002, e la mostra *Spectacular Bodies. The Art and Science of the Human Body from Leonardo to*

Now, presentata fra il 2000 e il 2001 alla londinese Hayward Gallery che ha esposto tavole anatomiche dell'opera *Anatomia universa* di Mascagni posseduta dalla biblioteca dell'Accademia senese: una rarità per il fatto di esistere unite e incorniciate, già dal 1841, a formare un uomo a grandezza naturale, tanto da essere scelte per la copertina e la controcopertina del relativo catalogo (fig. 9).

Il passaggio da materiale cartaceo a materiale digitale sta portando un profondo cambiamento in tutte le biblioteche. Per quanto i mezzi possano permetterlo, anche la biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici è sul cammino di adeguarsi alle nuove prospettive avendo già raggiunto le prime mete del lungo percorso che l'attende per rendere fruibile tutto il suo patrimonio.

Dal settembre 2010 nei locali al primo piano è in atto un processo di riordinamento degli spazi e delle opere, nonché di ammodernamento informatico. Tale processo, necessario per adattare ai tempi attuali il funzionamento della biblioteca, non deve e non dovrà in alcun modo alterare quella particolare atmosfera "da antichi strumenti e saperi" che continua a incantare non soltanto chi vive e lavora nell'Accademia, ma anche tutti i suoi visitatori.

Ringrazio la dottoressa Chiara Bratto e la responsabile della biblioteca Lorenza Chiantini per aver messo a mia disposizione la loro esperienza e capacità.

Contributi



Dune costiere ricoperte da vegetazione
presso Castiglione della Pescaia.
Foto "Il Graffio", Follonica.

Osservare la natura tra un atomo e l'altro

Neri Niccolai

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Biotecnologie, via Fiorentina 1 - 53100 Siena.
Accademia dei Fisiocritici di Siena, Insieme per la Scienza, piazzetta S. Gigli, 2 - 53100 Siena.
neri.niccolai@unisi.it

Agli inizi del 2011 le sostanze organiche e inorganiche catalogate dal *Chemical Abstract Service*, una divisione della società americana di Chimica, ammontavano a oltre 56 milioni, di cui 43 milioni commercialmente disponibili sul mercato. Come si può constatare dal contatore continuamente aggiornato che il *Chemical Abstract Service* mostra all'indirizzo <http://www.cas.org>, il tasso di crescita del repertorio molecolare conosciuto è dell'ordine di dieci nuove sostanze al minuto. Dalla finestra d'osservazione fornita da questo sito internet è possibile constatare "in diretta" come, nei centri di ricerca pubblici e privati di tutto il mondo, venga sistematicamente esplorato l'intero spazio chimico, di per sé infinito. Infatti, il numero di molecole diverse che si potrebbero formare con soli trenta atomi scelti fra carbonio, ossigeno, azoto e zolfo è stato stimato (Bohacek *et al.* 1999) nell'ordine di 10^{60} : un numero formato da un 1 seguito da sessanta zeri! Non male, se si considera che di zeri il miliardo di miliardi ne ha "solo" diciotto.

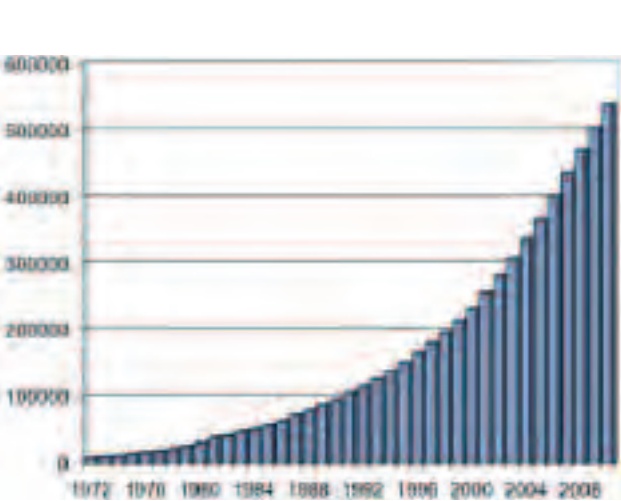
La natura, da miliardi di anni, sta compiendo l'esplorazione dello spazio chimico selezionando molecole in base alla loro stabilità, funzionalità e compatibilità biologica, potendo disporre, nell'intero universo, di un numero di atomi stimato in 10^{80} (URL 1). Così, gli organismi presenti sulla terra hanno prodotto un proprio

repertorio molecolare riducendo a "pochi" milioni le sostanze indispensabili alla propria esistenza. La complessità atomica di queste molecole naturali varia dal singolo atomo, nel caso dell'elio e degli altri gas nobili, alle centinaia di migliaia nel caso delle proteine o degli acidi nucleici.

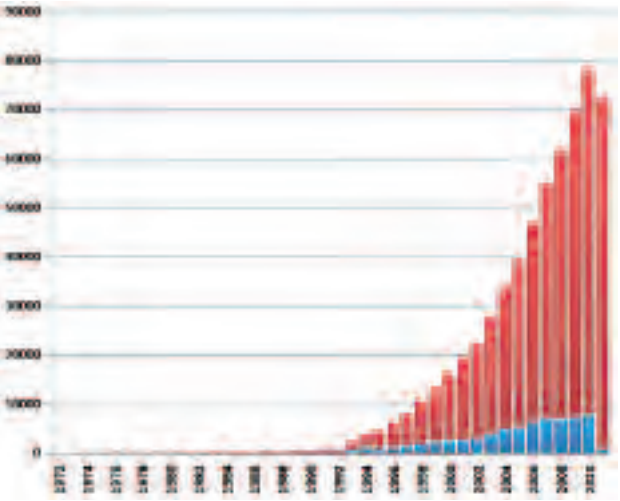
Dagli inizi del Novecento questo immenso patrimonio di chemio-diversità, alla base dei meccanismi che controllano i delicati equilibri dinamici della biodiversità necessari alla vita sul nostro pianeta, è stato oggetto di un'intensa attività d'indagine, anche dal punto di vista strutturale. Nasce, proprio in questo periodo, la biologia strutturale, un settore della ricerca che con il tempo si arricchisce di metodiche sperimentali indipendenti e complementari (come riassunto nella scheda 1).

I risultati conseguiti dalla biologia strutturale si sono dimostrati subito di fondamentale importanza sia per espandere le conoscenze sui meccanismi della vita alla risoluzione dell'atomo, sia per il progresso della tecnologia. La conoscenza dettagliata della forma delle molecole costituisce, infatti, la base razionale per progettare da un lato nuove difese per la nostra salute e per l'ambiente, dall'altro lo sviluppo di nuovi materiali e congegni a dimensione molecolare (nano-macchine).

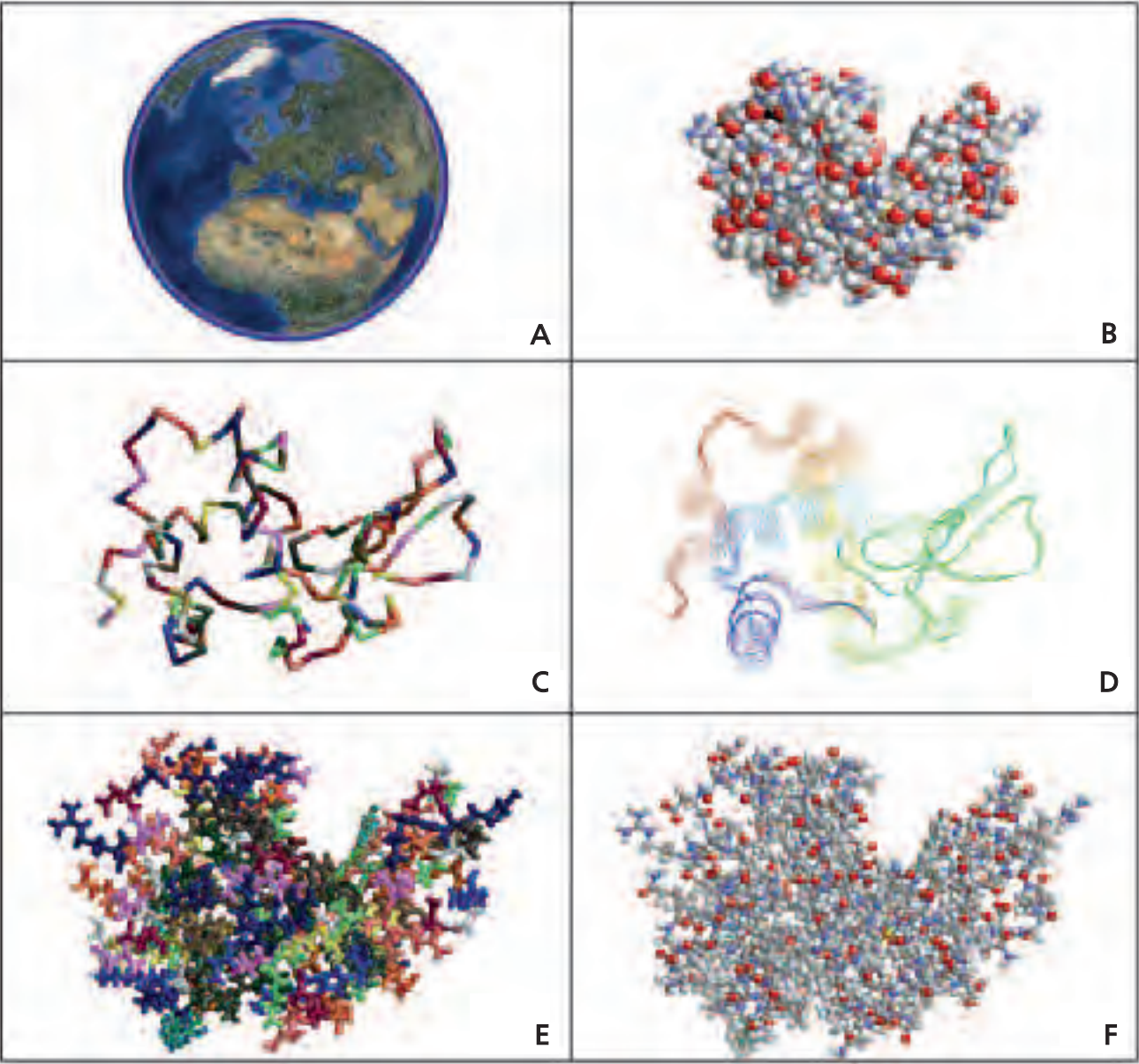
L'imponente mole di conoscenze strutturali a oggi accumulata su molecole naturali o sintetiche è da



1. Crescita del numero delle strutture depositate nel Cambridge Structure Database dalla data della sua istituzione (da URL 2)



2. Crescita del numero complessivo di strutture depositate nella Protein Data Bank dalla data della sua istituzione; la parte blu degli istogrammi indica il numero di strutture annualmente depositate (dati forniti da URL 3)



3. Rappresentazioni virtuali della Terra (A) e di una proteina, il lisozima umano, che è composto da 2105 atomi (B). Le immagini riportate nei riquadri B-F corrispondono ad alcuni dei modi diversi di visualizzazione molecolare comunemente usati per studiare le caratteristiche strutturali dei biopolimeri. Le diverse rappresentazioni di grafica molecolare qui mostrate sono state generate dal programma Rasmol, usando le coordinate cartesiane contenute nel documento liwt depositato nella Protein Data Bank (da URL 5). 3A: rappresentazione della Terra ottenuta utilizzando il programma Google Earth; il fattore di riduzione usato per questa rappresentazione virtuale è simile al fattore di espansione necessario per la visualizzazione della proteina riportata nel riquadro B-F 3B: sono mostrati tutti gli atomi della proteina, ciascuno rappresentato con una sfera che ne delimita l'accessibilità (raggio di Van der Waals); gli atomi di ossigeno, idrogeno, azoto, zolfo e carbonio sono colorati, rispettivamente, in rosso, bianco, azzurro, giallo e grigio. 3C: sono mostrati solo i legami degli amminoacidi, ciascuno colorato diversamente, che compongono la catena principale del biopolimero. 3D: rappresentazione equivalente a quella mostrata in C, ma idealizzata con un nastro. 3E: tutti i legami chimici tra gli atomi degli amminoacidi costituenti la proteina sono mostrati come bastoncini con la colorazione usata nel riquadro C. 3F: sono mostrati gli atomi come sfere e i legami come stecchi; ciascun atomo è colorato secondo la convenzione CPK usata anche nel riquadro B.

tempo di dominio pubblico e gratuito grazie a numerose banche dati accessibili via reti telematiche. Due di queste sono particolarmente famose, la *Cambridge Structural Database* (CSD), che contiene le coordinate cartesiane degli atomi delle piccole molecole inorganiche e organiche, e la *Protein Data Bank* (PDB), nella quale si trovano analoghe informazioni strutturali limitatamente alle macromolecole di interesse biologico quali proteine e acidi nucleici. Nelle figure 1 e 2

è mostrato l'aumento del numero delle strutture molecolari accessibili da CSD e PDB nel corso degli anni.

Come apparve subito chiaro ai primi biostrutturisti, avere la lista delle coordinate degli atomi presenti in una data molecola complessa quale una proteina non rappresentava un immediato avanzamento della conoscenza della natura, se non è accompagnata da efficienti metodologie per la rappresentazione tridimensionale

delle strutture risolte. Le lunghe liste di coordinate spaziali non possono, infatti, avere alcun diretto contenuto informativo sulle caratteristiche strutturali delle molecole. Analogamente, nessun elenco telefonico può fornire, a chi lo consulta, informazioni sulle caratteristiche della città e dei suoi abbonati.

Questo problema è stato oggi completamente superato grazie alle tecnologie informatiche che hanno permesso lo sviluppo dei programmi di grafica molecolare. La storia della visualizzazione della struttura delle molecole complesse non è stata una “passeggiata”, come è ben descritto in una pagina web curata dall’Università del Massachusetts, dove sono riportate alcune delle tappe principali dello sviluppo delle metodologie che hanno portato alla realizzazione degli odierni programmi di grafica molecolare (URL 4). Con questi programmi, dunque, è possibile una rapida traduzione delle coordinate atomiche in specifiche posizioni nello spazio virtuale tridimensionale dello schermo di un personal computer o di un telefono cellulare. Nella scheda 2 sono elencati alcuni tra i programmi di grafica molecolare gratuitamente ottenibili da internet, mentre in figura 3 sono mostrate alcune rappresentazioni di molecole complesse nelle modalità che più frequentemente sono usate dai ricercatori allo scopo di studiare le relazioni tra struttura tridimensionale e funzione biologica.

Come precedentemente accennato, il repertorio molecolare a oggi strutturalmente noto è imponente, così come lo è la rete di interazioni chimiche nelle quali tali molecole sono coinvolte. A questo proposito, è da sottolineare il fatto che la quantità d’informazioni provenienti dai numerosissimi laboratori presenti in tutto il mondo e che riguardano gli studi sui meccanismi che controllano i sistemi biologici è in tale crescita da poter essere seguita solo con l’ausilio di banche dati e opportune procedure di analisi.

L’attuale ricerca post-genomica – come si definisce lo studio dei meccanismi della vita a partire dalla conoscenza del patrimonio genetico delle varie specie e dei rispettivi singoli individui – ha portato lo stato dell’arte delle conoscenze biologiche a un livello molto avanzato. Così si è potuta sviluppare una nuova dimensione della biologia, la biologia dei sistemi, la quale, utilizzando tecnologie e metodi biotecnologici, bioinformatici e biochimici per comprendere e predire il funzionamento della natura a livello molecolare, ha superato il possibile rischio per la biologia strutturale di rimanere intrappolata, in una logica riduzionista, a collezionare e catalogare centinaia di migliaia di nuove strutture molecolari.

La struttura e la funzione delle 8000 piccole molecole organiche che l’organismo umano produce (URL 6) sono state quindi messe in relazione alle oltre 7000 proteine individuate nella rete di reazioni chimiche che la banca dati *Reactome* (URL 7) descrive in dettaglio.

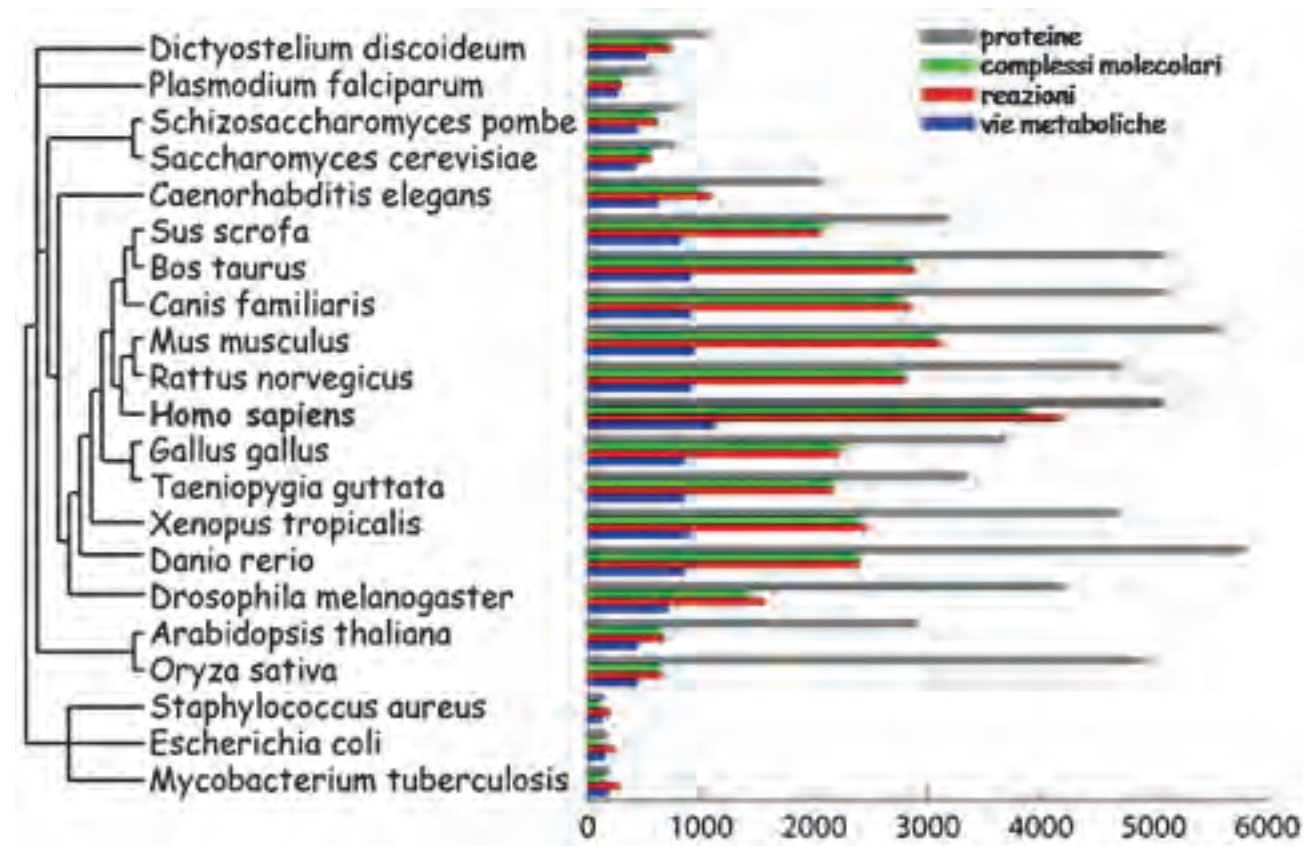
È interessante notare che lo spazio chimico occupa-

to dalle molecole prodotte “naturalmente” dall’uomo e quello occupato dalle molecole proposte dalla medicina convenzionale e alternativa si sovrappone in parte (Knox *et al.* 2011), spiegando il motivo per cui alcuni farmaci possano avere sia molteplici funzionalità, sia vari effetti collaterali (Adams *et al.* 2009; Khanna, Ranganathan 2010). Questa constatazione, unitamente alla conoscenza delle migliaia di reti di processi chimici descritti della banca dati *Reactome* (fig. 4), suggerisce una visione biochimica degli esseri viventi in cui essi stessi possono essere descritti come efficientissime fabbriche di composti chimici, quasi completamente pre-programmate da istruzioni custodite nel patrimonio genetico.

Queste istruzioni sono ben nascoste e solo lentamente affiorano oggi alla nostra conoscenza, grazie alle intense ricerche biomediche che vengono condotte contro le più frequenti patologie che ci affliggono. Ne sono un esempio gli studi contro l’insorgenza dei tumori che hanno evidenziato, inequivocabilmente, la base genetica di questa patologia.

Dunque ci siamo evoluti all’oscuro dei meccanismi che controllano la vita, a dispetto delle nostre capacità d’intuizione, ma quanto di negativo ci sia in questa nostra ignoranza deve essere valutato molto criticamente, alla luce dell’efficienza che dimostriamo nel farci del male, inconsapevolmente, alterando la nostra normale programmazione molecolare a seguito di stati emotivi disturbati. La base psicosomatica di molte sindromi è sempre più evidente e a questo proposito deve essere sottolineato che solo di recente sono cominciati studi sistematici e con tecnologie avanzate sugli effetti *placebo* e *nocebo* (Tracey 2010). È comunque facile prevedere l’enorme impatto per la nostra salute che deriverà dai risultati di tali ricerche, visti i molteplici effetti dell’interferenza tra il mondo delle nostre idee e quello delle nostre molecole. Ed è proprio a causa di questa interferenza che chi progetta nuovi farmaci, per validarne l’efficacia, è obbligato a condurre le necessarie prove cliniche con complesse e costose procedure.

Ciascuno degli ingredienti molecolari della vita compare in quantità molto piccole, a parte l’acqua che compone il nostro corpo mediamente al 60%. Così, l’adenosina trifosfato o ATP, che costituisce il nostro carburante principale (URL 8), è una delle molecole più presenti nel corpo umano con i suoi stimati 100+200 grammi in continuo riciclo (si veda scheda 3). Il fatto che tutte le altre migliaia di specie chimiche esplicino la loro funzione biologica a concentrazioni mediamente assai basse, nell’ordine delle parti per milione, porta a fare la seguente considerazione: le varie molecole che sono state viste operare in specifici percorsi biochimici, permettendo la continuazione della vita, a causa della loro rarefazione nell’affollato ambiente chimico presente sia all’interno sia all’esterno delle cellule non possono interagire le une con le altre in una successione casuale



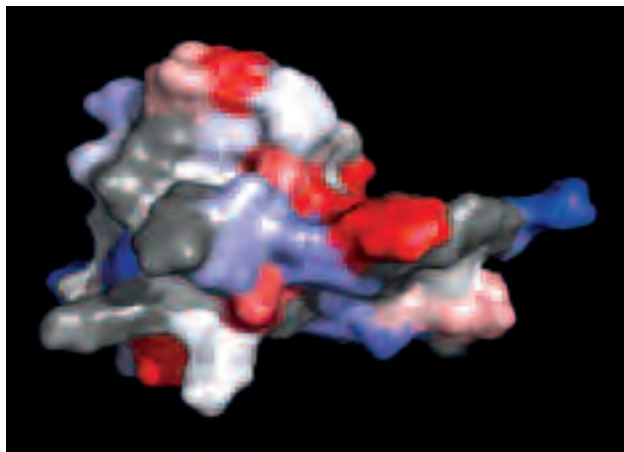
4. Contenuto della banca dati REACTOME nella versione pubblicata nel dicembre 2010. Per mezzo delle informazioni fornite da REACTOME è possibile seguire molti percorsi metabolici, per ciascuna delle specie considerate come rappresentative di diverse categorie tassonomiche, coinvolgenti reazioni tra proteine, acidi nucleici, piccole molecole e i loro complessi molecolari (www.reactome.org/stats.html)

d’incontri. È logico supporre che esistano dei “percorsi” e delle “regole” nell’interazione che attualmente ci sfuggono: è questo il motivo per il quale, ormai da molti anni nel laboratorio da me diretto, cerchiamo di capire quali siano i delicati meccanismi che sono alla base del dialogo tra le molecole.

Sicuramente l’acqua ha un ruolo determinante nel controllare i tempi e i modi delle interazioni intermolecolari, dato che queste si sono evolute e si sviluppano in sua presenza. A questo proposito è da notare che le molecole d’acqua hanno una “memoria assai corta”, in quanto i moti molecolari sono talmente rapidi che una loro orientazione e posizione non sopravvive per tempi più lunghi di pochi millesimi di milionesimi di secondo (Torre *et al.* 2004; Bernini *et al.* 2004). È proprio tale caratteristica dinamica a conferire alle molecole d’acqua la proprietà di essere in grado di guidare, in rapida successione e nell’affollatissimo ambiente intracellulare, molteplici interazioni tra molecole¹. Un aspetto centrale da chiarire, per capire i dettagli del dialogo tra molecole, è il motivo per il quale solo alcune limitate regioni della superficie esterna delle molecole mostrano un’elevata tendenza a entrare in contatto con altre specie chimiche. Queste zone della superficie molecolare sono chiamate *hot spots*, ovvero punti caldi, e, nel caso delle proteine, rappresentano la parte

funzionalmente più preziosa. Infatti questi *hot spots*, essendo i punti della superficie molecolare in cui particolarmente frequenti sono le collisioni tra la proteina e l’ambiente chimico circostante, devono essere considerati come il principale bersaglio di quelle molecole che avremo scelto, ad esempio, come farmaci. La ricerca di strategie molecolari a difesa della salute deve quindi partire proprio dalla definizione di dove sono distribuiti questi *hot spots* sulla superficie delle proteine di nostro interesse.

È proprio in questa direzione che abbiamo messo a punto una metodica sperimentale basata sulla tecnica spettroscopica di risonanza magnetica nucleare (NMR) per individuare gli *hot spots* proteici. I risultati a oggi ottenuti per le proteine che abbiamo preso in considerazione sono descritti in una nostra recente pubblicazione (Bernini *et al.* 2009) e possono essere così riassunti: la superficie delle proteine è avvolta da più strati di molecole d’acqua in cui queste manifestano diversi livelli di mobilità. Dove le molecole d’acqua hanno una ridotta mobilità, a causa di favorevoli interazioni con la superficie proteica, l’accesso di molecole diverse dall’acqua è fortemente sfavorito. Queste regioni della superficie proteica, chiamate siti d’idratazione, veicolano altrove tutte le molecole eventualmente candidate a formare legami con la proteina. Come esem-



5. La proteina SDF-1 è mostrata con la sua superficie colorata a seconda della sua accessibilità a una piccola molecola organica che viene utilizzata come sonda; le zone rosse corrispondono alle regioni che le misure spettroscopiche di risonanza magnetica nucleare indicano come le più frequentemente visitate dalla sonda, mentre quelle blu mostrano la caratteristica opposta; situazioni intermedie oppure non determinabili sono colorate rispettivamente in bianco e in grigio

pio, in figura 5 è mostrata la distribuzione degli *hot spots* di SDF-1, una proteina che è coinvolta nella proliferazione di cellule tumorali e sulla quale il nostro gruppo di ricerca sta lavorando. Infatti la messa a punto di una razionale strategia farmacologica per impedire la formazione di metastasi in processi cancerogeni potrebbe proprio partire dalla valutazione delle caratteristiche chimico-fisiche e strutturali degli *hot spots* della proteina SDF-1.

Nell'area senese ci sono numerosi centri di ricerca pubblici e privati che operano nel campo delle biotecnologie mediche e che considerano la biologia strutturale un'indispensabile dimensione per l'avanzamento delle proprie attività. Ciò nonostante, anche in questa parte della Toscana è assai limitata la pubblica percezione che la conoscenza della forma delle molecole possa costituire, oltre che una componente della cultura personale, anche una possibile opportunità occupazionale.

In questa prospettiva da alcuni anni opera SienaBiografix², che recentemente, nella sua veste di agen-

Note

¹ Su questo argomento l'Accademia dei Fisiocritici ha ospitato il confronto tra le posizioni dell'accademico professor Enzo Tiezzi e quelle dello scrivente, rispettivamente con le conferenze dal titolo *I misteri dell'acqua* (29 ottobre 2003) e *L'acqua, questa smemorata* (17 marzo 2004).

² SienaBiografix, piccola impresa *biotech*, spin-off dell'Università degli Studi di Siena, operante nel Parco Scientifico della Toscana - Toscana Life Science.



6. Uso del programma *Molecoscopio* realizzato da SienaBiografix per una rappresentazione didattica virtuale di semplici molecole che incontriamo frequentemente nella vita quotidiana (la caffeina nel caso mostrato in figura)

zia accreditata nel progetto intercomunale Comunità Educative (URL 9), sta proponendo suoi percorsi di alfabetizzazione molecolare agli studenti delle scuole elementari e medie inferiori in collaborazione con l'Accademia dei Fisiocritici, con l'obiettivo di sfatare leggende metropolitane secondo le quali chimica e divertimento siano schierati su fronti opposti. Per l'anno scolastico 2011-2012 SienaBiografix propone due iniziative didattiche: *Alfabetizzazione molecolare* (fig. 6) e *La scienza in cucina*.

Insieme per la scienza, ovvero il gruppo di lavoro per la diffusione della cultura scientifica e tecnologica di recente costituitosi all'interno dell'Accademia dei Fisiocritici, cercherà di impegnarsi per informare, nelle forme comunicative più adeguate, il pubblico dei non addetti ai lavori sulle principali tematiche scientifiche. Gli interventi saranno condotti anche in una prospettiva molecolare, allo scopo di contenere gli atteggiamenti ostili alla scienza, che soprattutto nel campo biomedico trovano sempre più spesso fertile terreno: *Veris quod possit vincere falsa* (Lucrezio, I secolo a.C.).

Testi citati

Adams J.C., Keiser M.J., Basuino L., Chambers H.F., Lee D.S., Wiest O.G. & Babbitt P.C. (2009) - *A mapping of drug space from the viewpoint of small molecule metabolism*. PLoS Comput Biol., 5 (8): e1000474.

Bernini A., Spiga O., Ciutti A., Chiellini S., Mencias N., Venditti V. & Niccolai N. (2004) - *On the dynamics of water molecules at the protein solute interfaces*. Homeopathy, 93 (4): 199-202.

Bernini A., Venditti V., Spiga A. & Niccolai N. (2009) - *Probing*

Protein Surface Accessibility with Solvent and Paramagnetic Molecules. Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, 54 (3-4): 278-289.

Bohacek R., McMartin C., Glunz P., Ripka A. & Rich D.H. (1999) - *Technical Proceedings of the 1999 International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems*. Chapter 2: Computational Initiatives in Biotechnology, pp. 35-37.

Khanna V. & Ranganathan S. (2009) - *Physicochemical property space distribution among human metabolites, drugs and toxins*. BMC Bioinformatics, 10 Suppl. 15: S10.

Knox C., Law V., Jewison T., Liu P., Ly S., Frolkis A., Pon A., Banco K., Mak C., Neveu V., Djoumbou Y., Eisner R., Guo A.C. & Wishart D.S. (2011) - *DrugBank 3.0: a comprehensive resource for 'omics' research on drugs*. Nucleic Acids Res., 39 (Database issue): D1035-41.

Torre R., Bartolini & Righini R. (2004) - *Structural relaxation in supercooled water by time-resolved spectroscopy*. Nature, 428: 296-299.

Tracey I. (2010) - *Getting the pain you expect: mechanisms of placebo, nocebo and reappraisal effects in humans*. Nat. Med., 16 (11): 1277-1283.

Sitologia

URL 1: <http://www.madsci.org/posts/archives/oct98/905633072.As.r.html>

URL 2: <http://www.ccdc.cam.ac.uk/products/csd/statistics/image1.php4>

URL 3: http://www.rcsb.org/pdb/static.do?p=general_information/pdb_statistics/index.html

URL 4: <http://www.umass.edu/microbio/rasmol/history.htm>

URL 5: <http://www.rcsb.org>

URL 6: <http://www.hmdb.ca>

URL 7: <http://www.reactome.org>

URL 8: http://it.wikipedia.org/wiki/Adenosina_trifosfato

URL 9: <http://comunitaeducative.it>

Scheda 1: Tappe fondamentali della storia della biologia strutturale

1895: W.C. Roentgen scopre i raggi X

1912: Max von Laue scopre che i cristalli diffrangono i raggi X

1913: W.L. Bragg determina la struttura cristallografica del cloruro di sodio

1935: la struttura della prima molecola organica complessa, la ftalocianina, è risolta

1949-1957: le strutture della penicillina (1949) e della vitamina B-12 (1957) sono risolte

1953: Rosalind Franklin risolve la struttura del DNA consistente con il modello di Watson & Crick

1958: la prima struttura di una proteina, la mioglobina, è risolta

1962: Max Perutz e Sir John Kendrew vincono il Premio Nobel per la Chimica con i loro studi sulle proteine globulari (Kendrew ha ricevuto la Laurea Honoris Causa in Biologia presso l'Università di Siena nel maggio 1991)

1971: al Brookhaven National Laboratory, Long Island, New York, è creata la Protein Data Bank

1986: prima struttura di una proteina ottenuta in soluzione mediante NMR da Kurt Wüthrich, laureato *ad honorem* in Chimica all'Università di Siena nel marzo del 1997 e successivamente insignito del Nobel per la Chimica nel 2002

1989: nella Protein Data Bank vengono accettate le prime strutture ottenute da misure NMR

1997: nella Protein Data Bank vengono accettate strutture ottenute con crio-microscopia elettronica

Scheda 2: Programmi di grafica molecolare gratuiti per uso no-profit

Nome programma e indirizzo da cui scaricarlo

RASMOL

<http://rasmol.org/doc/rasmol.html>

MOLMOL

<ftp://ftp.mol.biol.ethz.ch/software/MOLMOL>

PYMOL

<http://pymol.org/educational>

Scheda 3: ATP Story



La adenosina trifosfato, o ATP, è la molecola che permette il funzionamento del "motore" degli esseri viventi. Noi ne consumiamo, ogni giorno, 60 Kg se conduciamo una vita normale. La stessa quantità di ATP è consumata da un maratoneta durante le due ore necessarie per portare a termine la corsa¹.

La quantità di ATP che abbiamo, in ogni istante della nostra vita, non supera i due etti: in media abbiamo una molecola di ATP ogni 5000 molecole d'acqua, ma una proteina chiamata ATP sintetasi in un giorno rigenera circa 12 milioni di molecole di ATP. L'ATP sintetasi lavora all'interno dei mitocondri, organuli che sono particolarmente numerosi in alcuni tipi di cellule. Interessante è fare una visita al sito del prof. John Walker, uno dei principali scopritori della ATP, sintetasi alla URL <http://www.mrc-mbu.cam.ac.uk/research/atp-synthase>.

¹ Di Carlo S.E. & Colliins H.L. (1 giugno 2001) - *Submitting illuminations for review*. Advan. Physiol. Edu, 25 (2): 70-71.

I minerali argillosi quali indicatori per ricostruire il clima del passato

Francesco Iacoviello

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina 8 - 53100 Siena.
iacoviello3@unisi.it

Secondo le stime dell'United Nation Population Division, entro la fine del 2011 la popolazione mondiale raggiungerà i sette miliardi (ogni anno sulla Terra ci sono 80 milioni di persone in più). Viviamo in tempi di prosciugamento delle falde acquifere, scioglimento dei ghiacciai e impoverimento delle riserve naturali; se in futuro anche i paesi poveri seguiranno l'esempio di quelli ricchi, disboscando le foreste e bruciando combustibili fossili, giungeremo a un massimo sfruttamento delle risorse naturali e a una considerevole produzione di CO₂ di origine antropica con conseguente incidenza sul clima. L'analisi dei minerali argillosi contenuti nelle sequenze sedimentarie antartiche riveste grande importanza ai fini climatici: i record stratigrafici sono infatti impiegati per determinare il comportamento delle calotte glaciali e per comprendere i fattori regolanti la crescita e il ritiro cui esse sono andate incontro nel passato. Le conoscenze acquisite in questo ambito permetteranno di svelare la risposta del continente antartico ai futuri cambiamenti climatici globali.

Premessa

I minerali argillosi sono dei silicati idrati (principalmente di alluminio e magnesio) appartenenti alla famiglia dei fillosilicati. Tali minerali si ritrovano, per la maggior parte, sotto forma di particelle appiattite formanti aggregati a grana fine (< 2 µm). Essi, inoltre, sono i principali costituenti di una classe di sedimenti che per accumulo e compattazione danno luogo ad argilliti (*shales*) e a fanghi induriti (*mudstones*). La loro presenza all'interno di un sedimento può avere origine detritica oppure autigenica, cioè di neoformazione. I detriti argillosi si formano in seguito a processi di degradazione di rocce preesistenti, di natura sia fisica (*weathering* fisico) che chimica (*weathering* chimico), strettamente legati alle condizioni climatiche (i primi prevalgono in condizioni climatiche aride e fredde, i secondi in condizioni umide e calde). Al processo di degradazione fisica si rifanno i fenomeni di frammentazione e disgregazione meccanica delle rocce da parte di vari agenti (atmosferici, biologici ecc.); tra questi fenomeni si ricorda il crioclastismo, cioè la disgregazione causata dalla pressione esercitata dall'acqua entro le fessure rocciose quando questa nel congelarsi aumenta di volume. Il processo conduce generalmente alla formazione di suoli con minerali ereditati dalle rocce madri, quali mica, clorite, quarzo, feldspati, calcite e dolomite. Quanto all'alterazione chimica delle rocce, particolarmente diffusa in natura, essa è essenzialmente a carico dell'acqua e si manifesta con fenomeni di dissoluzione, ossidazione e idrolisi (quest'ultima è dovuta a soluzioni acquose debolmente ionizzate in condizioni di pH medio e viene favorita da una lunga esposizione delle rocce). Il risultato finale consiste, comunemente, nella formazione di minerali secondari quali la smettite, la caolinite, la clorite e l'illite. I detriti argillosi sono da interpretare

come "trasportati" nel bacino di sedimentazione. I minerali argillosi di origine autigena, invece, si formano direttamente *in situ*, cioè all'interno del bacino di sedimentazione, per effetto della diagenesi o per precipitazione da fluidi idrotermali (Chamley 1989; Singer 1984).

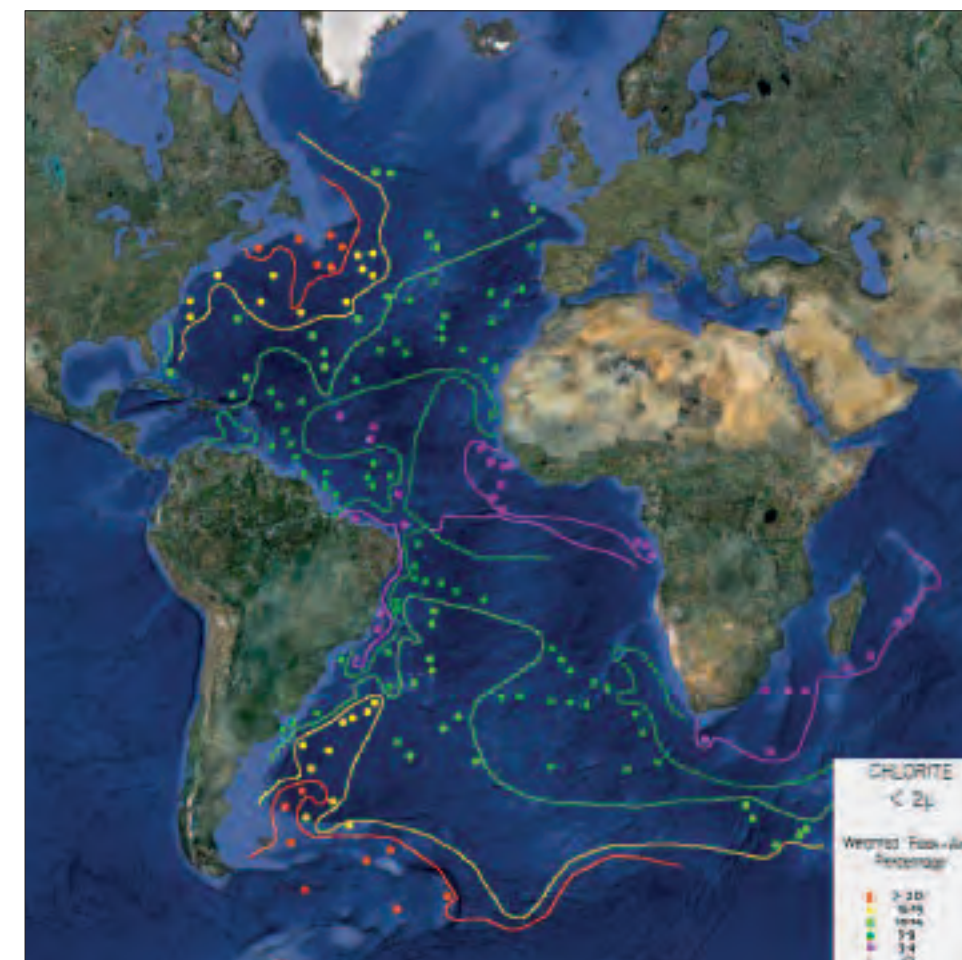
Lo studio dei minerali argillosi contenuti nelle sequenze sedimentarie può fornire preziose informazioni in campo geologico, ad esempio per effettuare correlazioni stratigrafiche, individuare variazioni paleoclimatico-ambientali e caratterizzare in senso geochemico gli ambienti deposizionali.

I minerali argillosi nei sedimenti oceanici attuali

A seguito di numerosi studi effettuati a partire dagli anni sessanta del secolo scorso, sono state costruite mappe di distribuzione dei principali minerali argillosi (clorite, illite, caolinite e smettite) contenuti nei sedimenti oceanici, le quali possono fornire utili indicazioni circa l'influenza esercitata dal clima sui continenti (si vedano per esempio Biscaye 1965; Griffin *et al.* 1968; Lisitzin 1972; Windom 1976; Ehrmann *et al.* 1992).

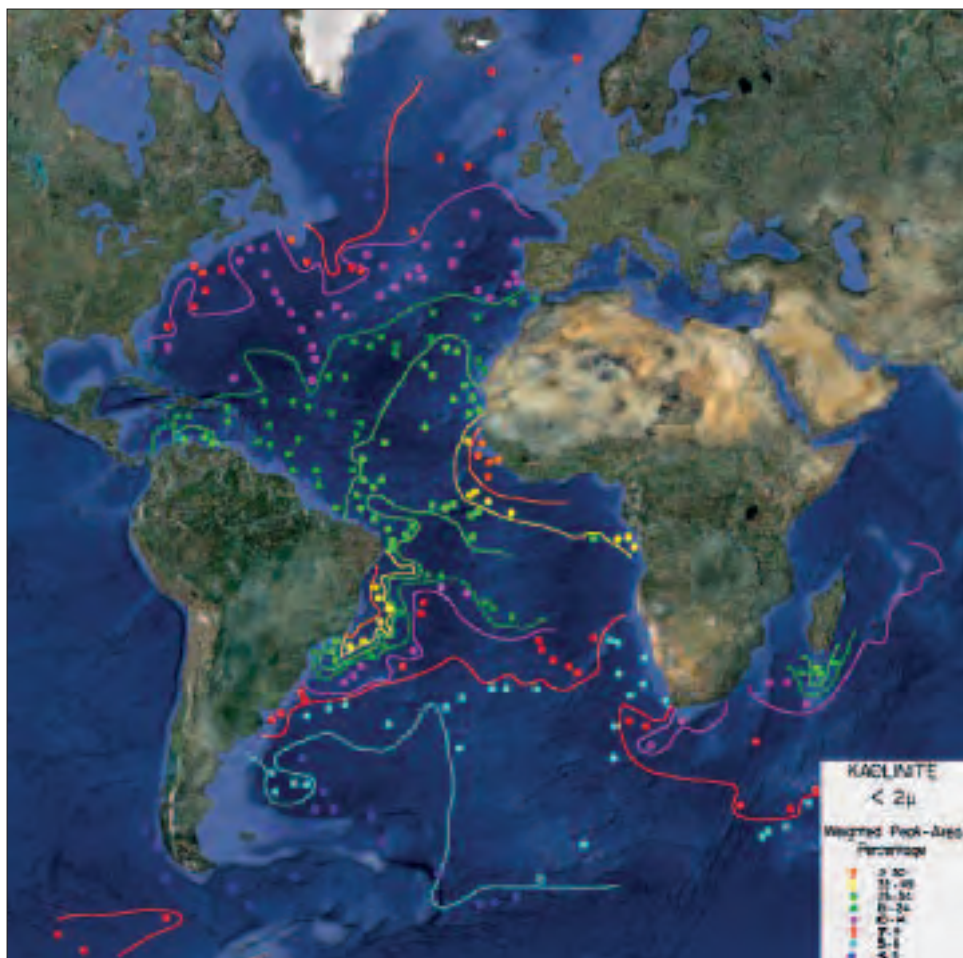
La clorite e l'illite derivano principalmente da processi di alterazione fisica e di erosione di rocce cristalline in climi freddi e aridi. La clorite, caratteristica di rocce metamorfiche di basso grado, non è molto resistente all'alterazione e al trasporto e può formarsi in ambiente marino solo sotto ristrette condizioni (Griffin *et al.* 1968), mentre l'illite, originaria di rocce più acide, è relativamente resistente e non risulta possa formarsi *in situ* in ambiente marino aperto. La mappa di distribuzione della clorite mostra come le maggiori percentuali di questo minerale risultino ubicate alle alte latitudini (fig. 1); quella dell'illite, invece, evidenzia alte concentrazioni nelle più varie latitudini (fig. 2).

1. Mappa di distribuzione attuale della clorite nei sedimenti superficiali degli oceani

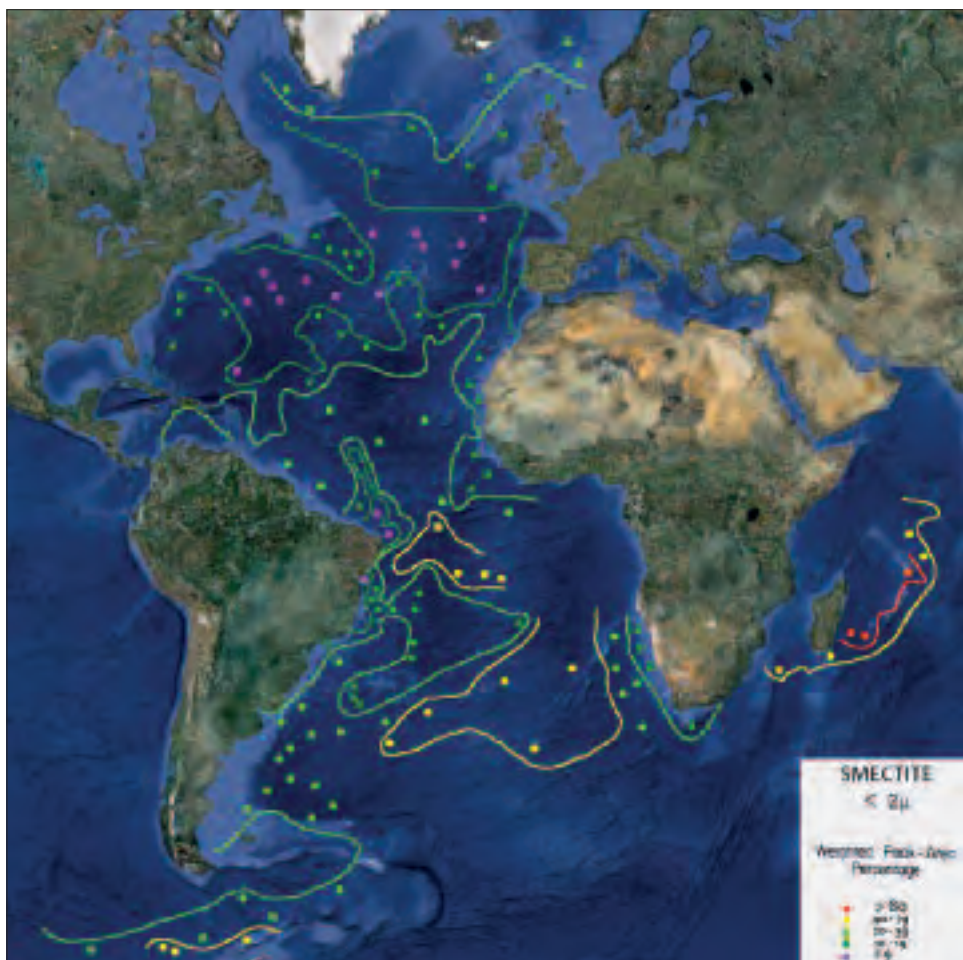


2. Mappa di distribuzione attuale dell'illite nei sedimenti superficiali degli oceani

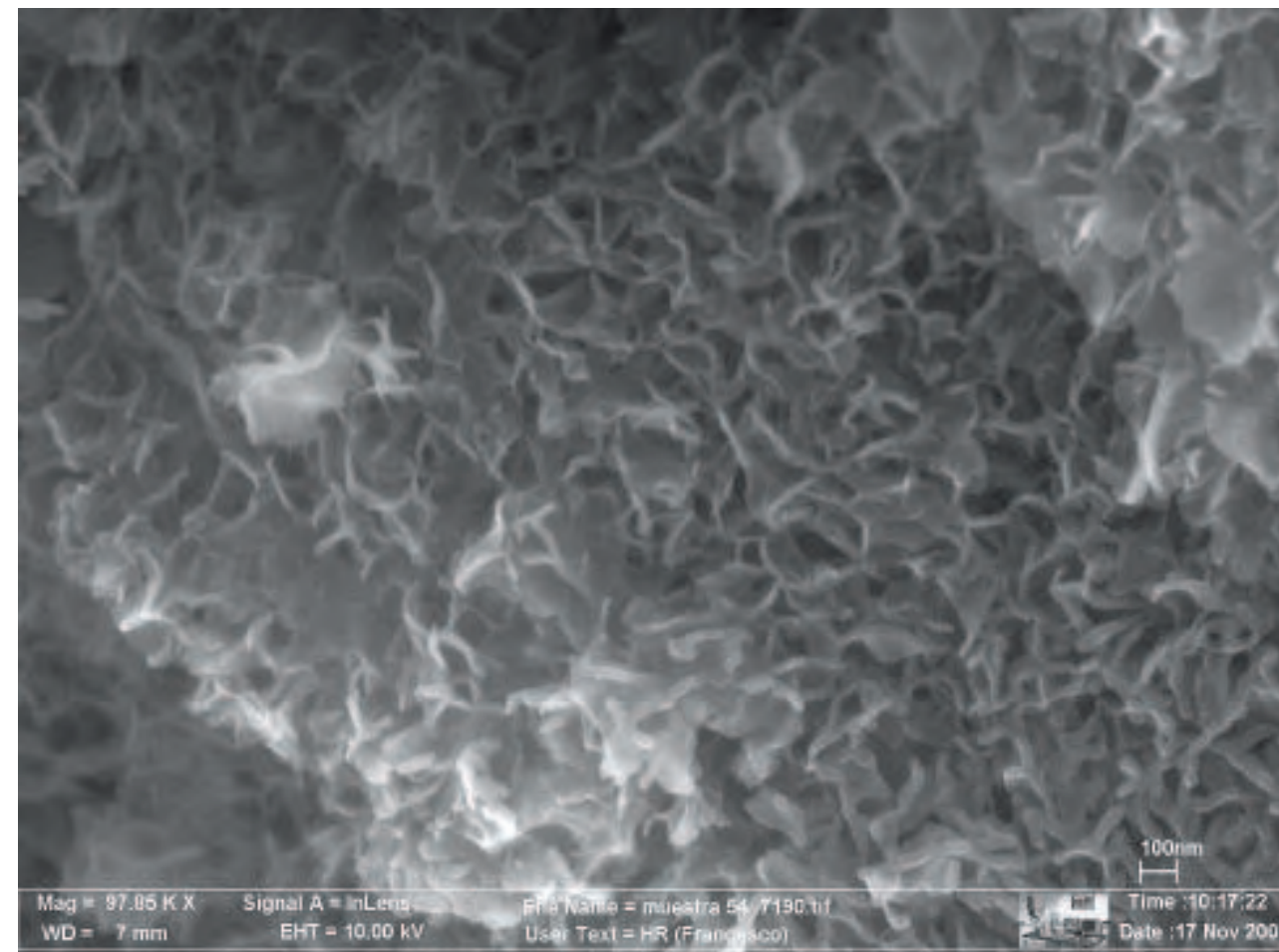




3. Mappa di distribuzione attuale della caolinite nei sedimenti superficiali degli oceani



4. Mappa di distribuzione attuale della smettite nei sedimenti superficiali degli oceani



5. Tessitura “a nido d’ape”, caratteristica della smettite di neoformazione

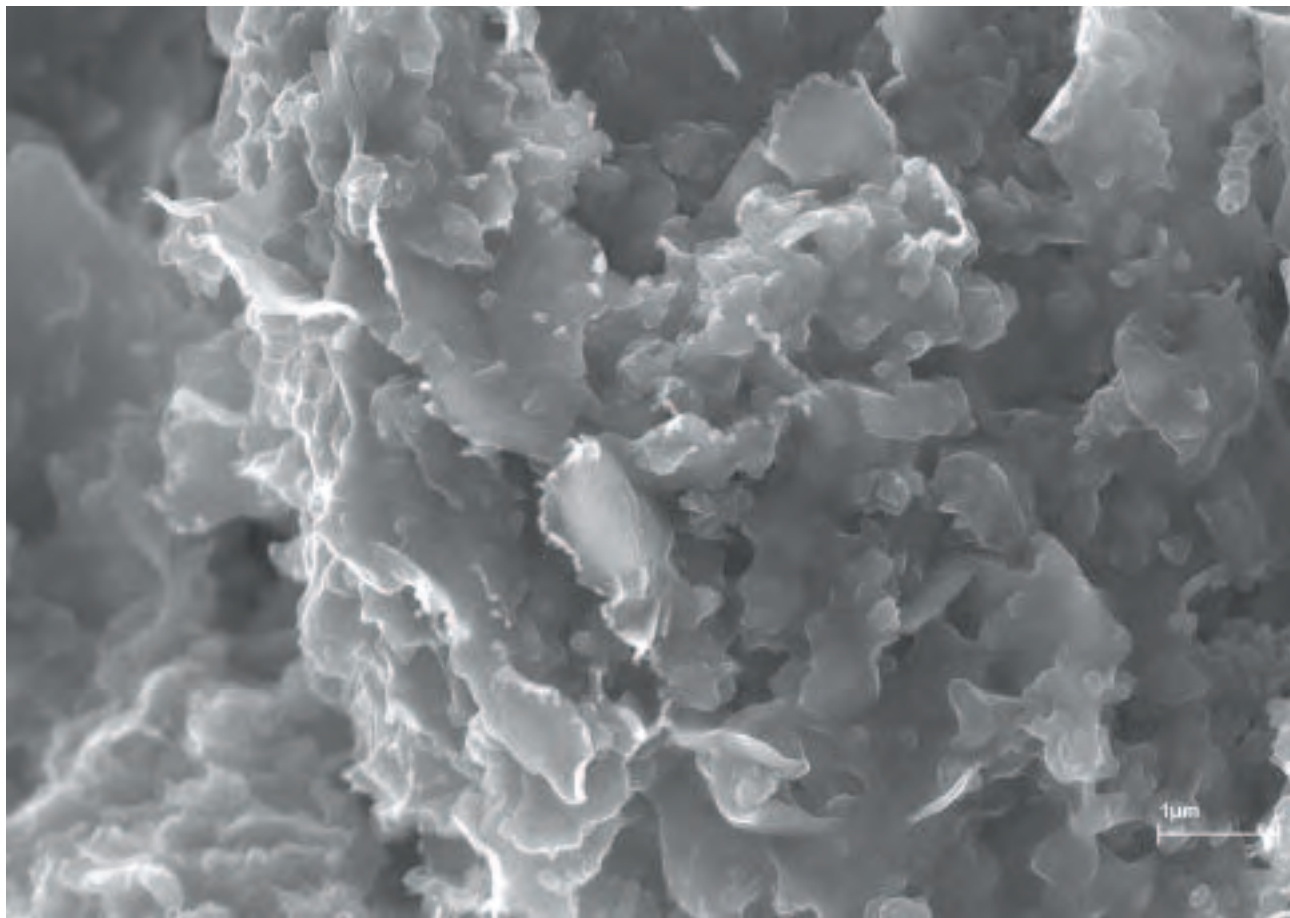
La caolinite si produce in ambienti umidi continentali da temperato-caldi a tropicali, in seguito ad alterazione chimica di rocce sorgenti soprattutto di tipo granitico, con formazione di suoli lateritici. La distribuzione di questo minerale nei sedimenti superficiali degli oceani (fig. 3), con prevalente concentrazione alle basse latitudini, sottolinea questo fatto (la sua presenza in zone polari può essere interpretata come prodotta dall'alterazione di rocce più antiche o dall'erosione di paleosuoli).

Pur essendo ancora molto dibattuta, l'origine della smettite sembra risiedere prevalentemente in processi di idrolisi sotto condizioni tra caldo-umide e fredde-asciutte, cioè comprese tra quelle necessarie per la formazione della caolinite e quelle della clorite e dell'illite (Chamley 1989). Il fatto che la smettite si ritrovi comunemente in regioni marine nelle quali l'attività vulcanica fornitrice di rocce sorgenti è elevata e i tassi di sedimentazione sono molto bassi fa altresì pensare che essa possa collegarsi a processi di alterazione sottomarina di materiale vulcanico (almirolisi).

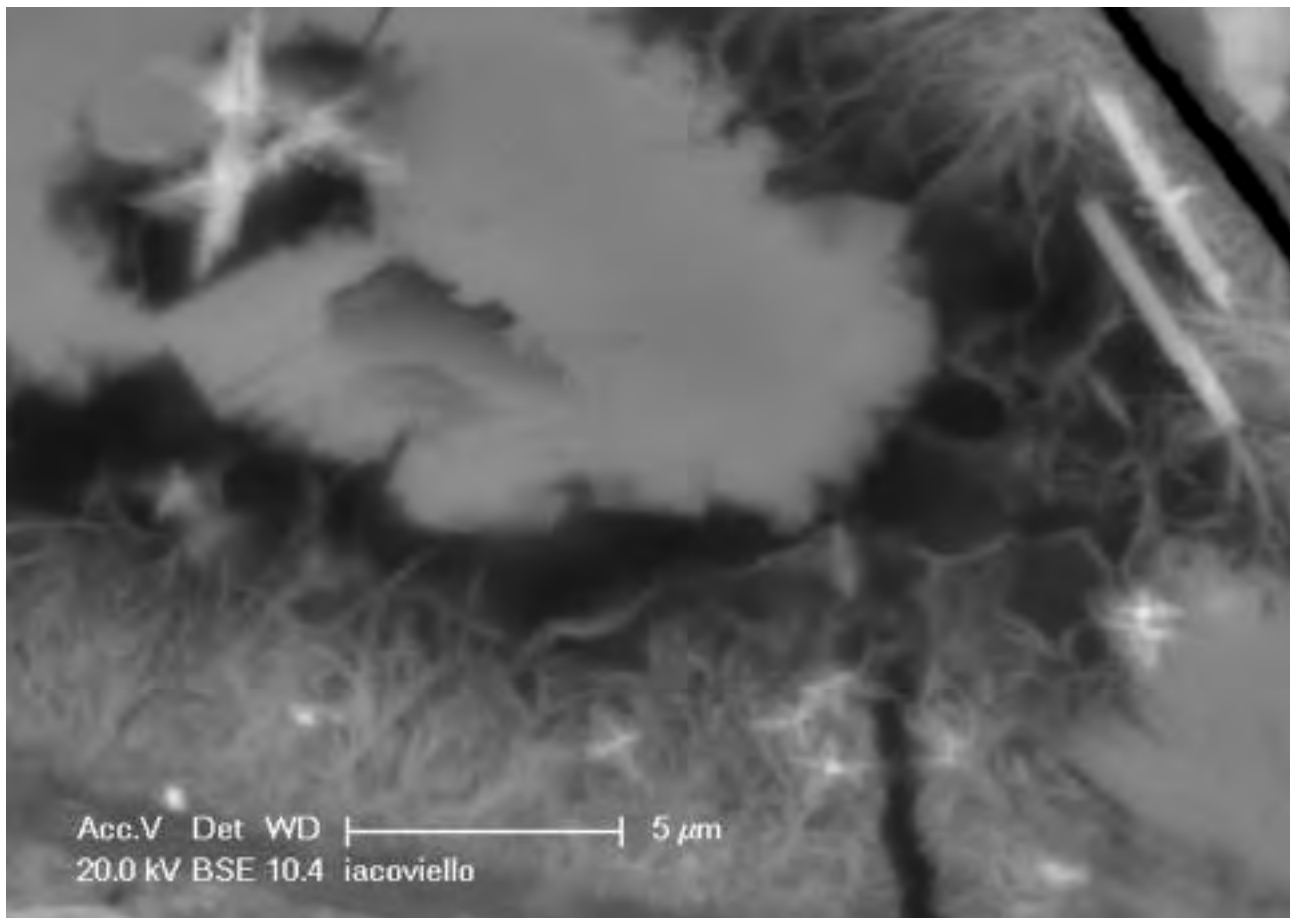
Sebbene la distribuzione latitudinale della smettite nei sedimenti superficiali degli oceani non si presenti così chiara come quella degli altri minerali argillosi (fig. 4), per cui una relazione con i processi di alterazione

non è facilmente individuabile, le sue concentrazioni massime si rilevano nell'Oceano Indiano occidentale, nell'Atlantico meridionale e nel Pacifico centro-meridionale. Per quanto riguarda i depositi oceanici circum-antartici, si ritiene che la maggior parte della smettite in essi presente sia di origine continentale; in alcuni suoli dell'Antartide, in effetti, è stata riscontrata formazione di questo minerale per alterazione chimica.

Ai fini dell'indagine paleoclimatica risulta particolarmente importante identificare la corretta origine della smettite: quella detritica, infatti (come tutti gli altri minerali argillosi della stessa natura), è da considerarsi buon indicatore del clima del passato, mentre quella autigena può fornire informazioni di tipo geo-chimico e sui processi post-deposizionali. La distinzione delle smettiti detritiche da quelle autigene può essere fatta sulla base delle loro caratteristiche tessiturali e morfologiche. Le detritiche mostrano sovente un basso grado di cristallinità, rilevabile mediante diffrazione di polveri di campioni orientati tessitualmente (XRD); le autigene sostituiscono spesso frammenti di materiale vulcanico e formano ricoprimenti con struttura “a nido d’ape” (*honeycomb*; fig. 5), visibili sia al microscopio elettronico a scansione (SEM) sia a quello ottico a scansione a emissione di campo

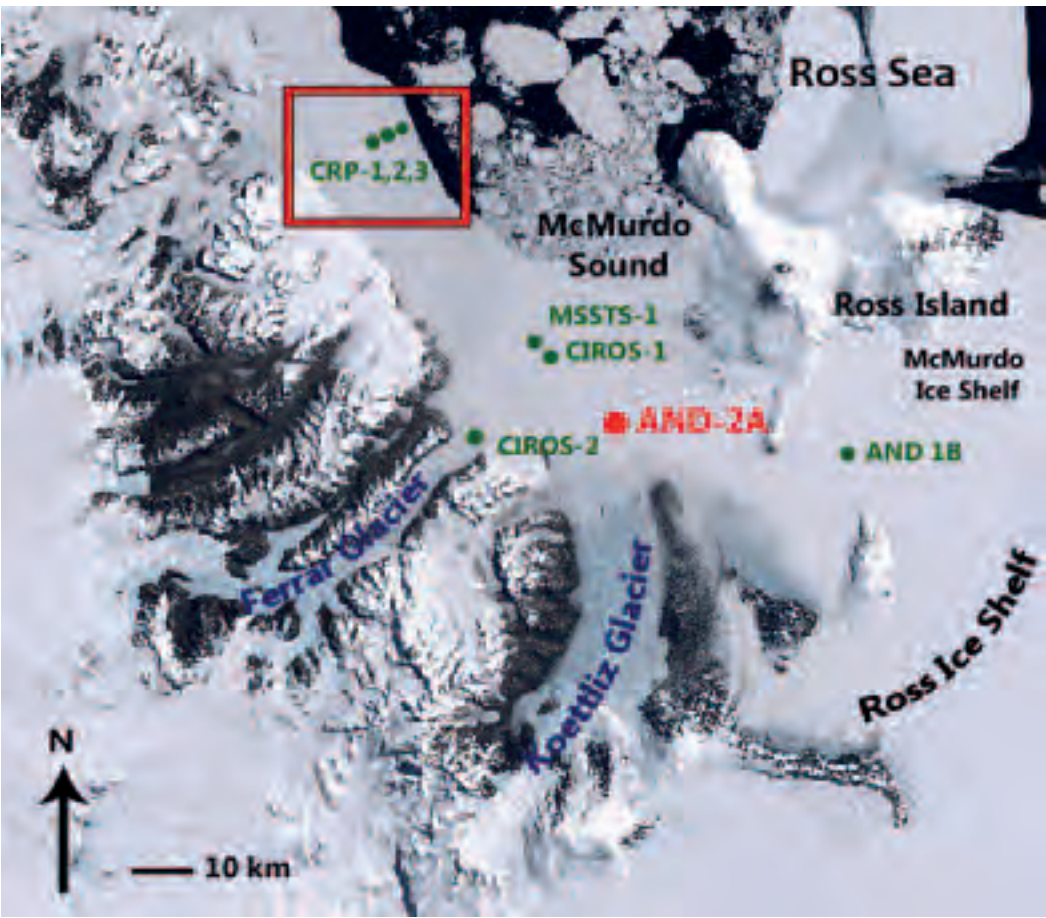


6. Tessitura “a fiocchi”, caratteristica della smettite detritica



7. Tessitura “a capelli”, tipica della smettite autigena

8. Immagine satellitare del McMurdo Sound; nel rettangolo in rosso sono indicati i pozzi di perforazione del programma Cape Roberts Project



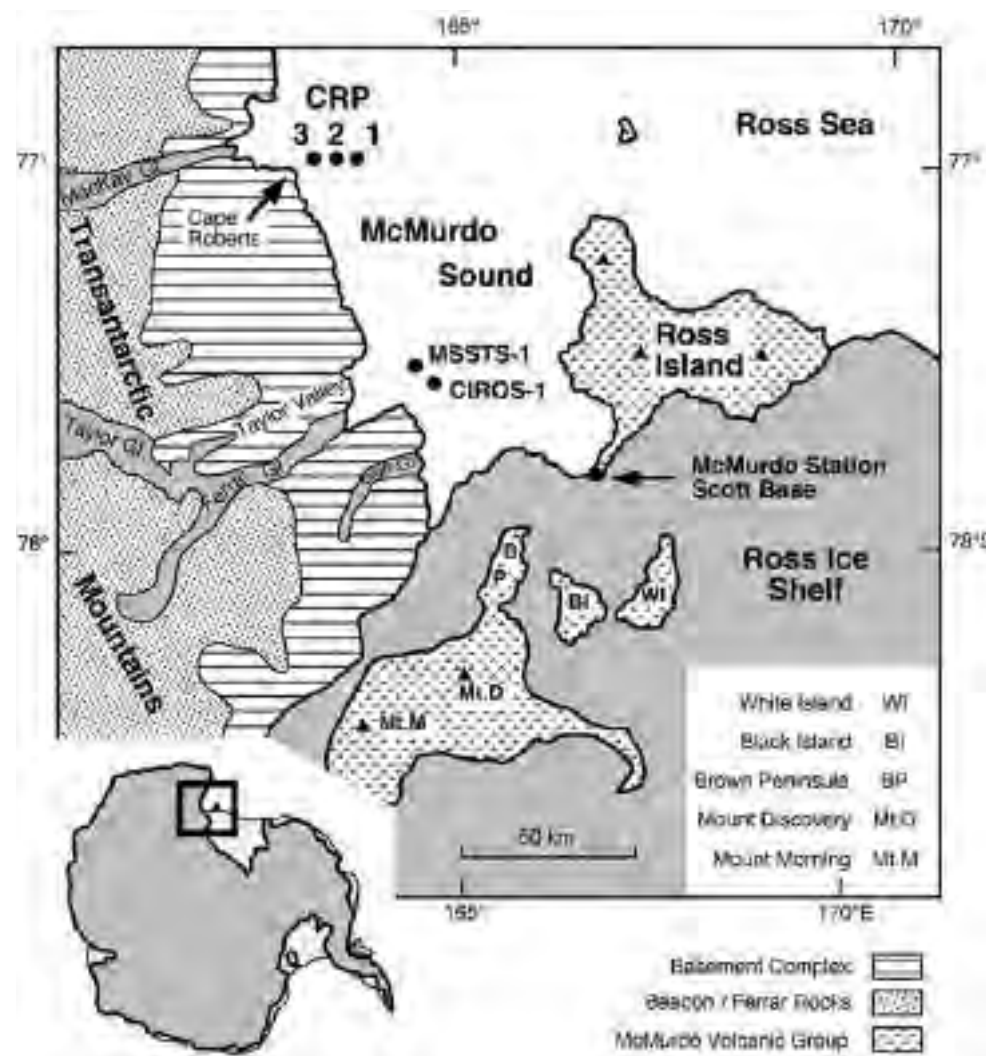
(FESEM). Le osservazioni al FESEM, inoltre, consentono di evidenziare per le smettite detritiche un caratteristico aspetto “a fiocchi” (*flaky*; fig. 6) e per quelle autigene un altrettanto caratteristico aspetto “a capelli” (*hairy shape*; fig. 7).

I minerali argillosi dei sedimenti cenozoici ubicati al largo di Cape Roberts (McMurdo Sound, Antartide)

Le variazioni nell'estensione e nel volume delle calotte glaciali antartiche influenzano il livello marino, regolano le correnti e determinano la produzione di acque fredde e dense che penetrano nelle profondità oceaniche spingendosi fino all'emisfero boreale. Questo fenomeno fa delle calotte antartiche uno dei principali e più importanti fattori di controllo climatico del nostro pianeta (Hambrey & Barrett 1993; Bartek *et al.* 1996; Abreu, Anderson 1998; Barrett 1999; Zachos *et al.* 2001; Billups & Schrag 2003; Mackensen 2004). La regione del Mare di Ross è considerata strategica per indagini di tipo climatico, in quanto le due più importanti calotte glaciali antartiche, quella occidentale e quella orientale, confluiscono in essa. Negli ultimi anni sono stati fatti notevoli passi avanti nella ricostruzione del comportamento nel tempo di queste calotte, grazie a programmi di perforazione come il Cape Roberts Project, l'Ocean Drilling

Program e l'ANDRILL (includente il McMurdo Ice Shelf Project e il Southern McMurdo Sound Project; fig. 8). I risultati delle ricerche sui depositi cenozoici hanno evidenziato che la calotta orientale si è sviluppata molto rapidamente intorno al limite Eocene/Oligocene (circa 33,9 milioni di anni fa) e ha subito un ulteriore sensibile sviluppo successivamente all'*optimum* climatico del Miocene medio, verificatosi intorno ai 15 milioni di anni fa. Tale calotta, che poggia sopra un basamento roccioso, oggi ricopre un'area di 9,86 milioni di km², ha uno spessore medio di oltre 2500 m e un volume di oltre 22 milioni di km³. Per quanto riguarda la calotta occidentale, le prime evidenze di una sua presenza risalgono al Miocene superiore; si presume, comunque, che almeno fino al Pliocene inferiore essa sia stata caratterizzata da una certa instabilità. Attualmente questa calotta è decisamente più ridotta della precedente (2,23 milioni di km², con uno spessore medio del manto glaciale di circa 1700 m) e giace sopra un arcipelago di limitata estensione.

I minerali argillosi contenuti nei sedimenti marini antartici attuali consistono essenzialmente di illite associata a minori quantità di smettite, clorite e caolinite. Si tratta di minerali la cui origine è essenzialmente detritica e la cui distribuzione quantitativa è governata dalla natura delle rocce sorgenti e dai tassi di alterazione di queste ultime. Nell'area del Mare di Ross si ritiene che la smettite derivi da alcuni suoli affioranti nelle montagne transantartiche o, più verosimilmente, dalle rocce vulca-



9. Carta geologica schematica dell'area del Mare di Ross, con l'ubicazione dei principali carotaggi

niche presenti nel McMurdo Sound. L'illite e la clorite, al contrario, derivano per lo più dalle rocce cristalline affioranti nel cratone est antartico e nelle montagne trans-antartiche, nonché dalle formazioni sedimentarie del Beacon Supergroup di queste ultime (figg. 8-9).

Vari autori (Robert & Maillot 1990; Ehrmann *et al.* 1992 e 1998) hanno utilizzato con successo la distribuzione quantitativa dei differenti minerali argillosi nei depositi antartici allo scopo di effettuare ricostruzioni paleoclimatiche e di provenienza dei sedimenti. Questo articolo, che prende in considerazione sedimenti recuperati tramite carotaggio al largo di Cape Roberts nel McMurdo Sound (figg. 8-9), vuole fornire un contributo in questo senso integrando i risultati finora ottenuti.

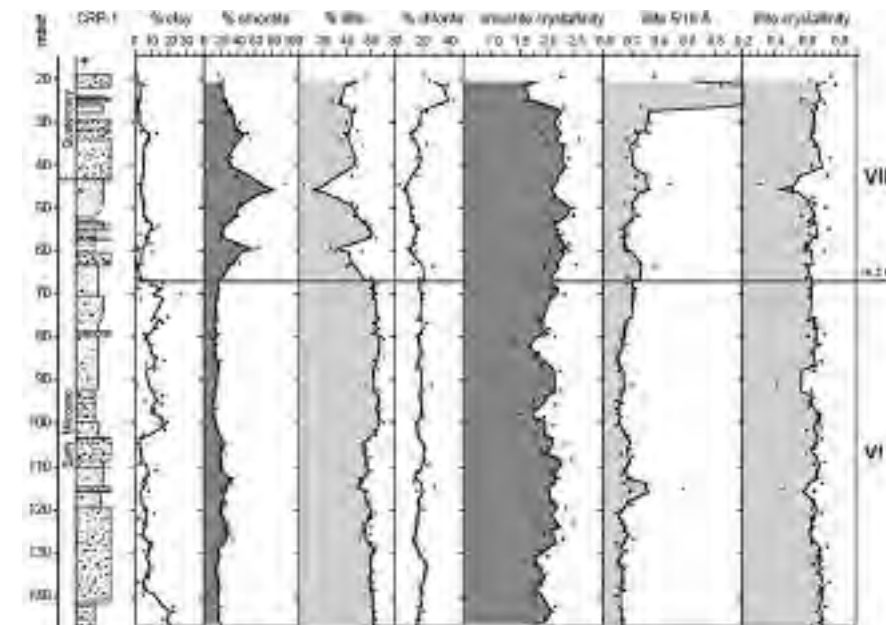
I depositi esaminati, di pertinenza dei pozzi CRP-1, CRP-2/2A e CRP-3 (figg. 10-12), abbracciano una lunghezza complessiva di 1600 metri e hanno un'età compresa tra l'Eocene superiore e il Miocene inferiore (Hambrey *et al.* 1998; Barrett *et al.* 2000a-b, 2001a-b). Ehrmann *et al.* (2005) hanno suddiviso la sequenza sedimentaria in sette unità (figg. 10-12) determinate in corrispondenza di variazioni brusche della percentuale

dei vari minerali argillosi, così come in corrispondenza di variazioni sostanziali nella cristallinità della smettite e dell'illite.

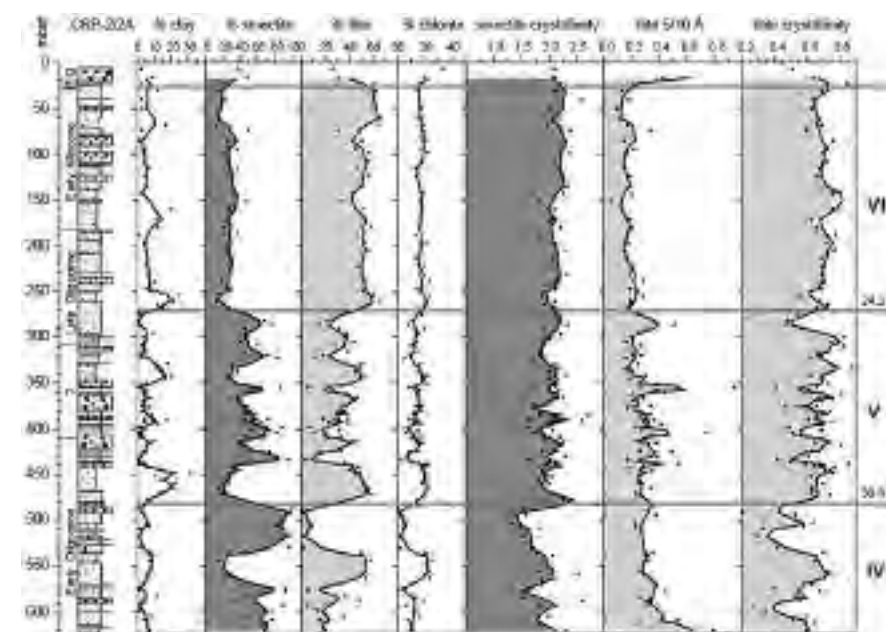
Per quanto concerne la cristallinità (espressa come integrale della larghezza, $\Delta^{\circ}2\theta$, del picco a 16,5 Å della smettite e di quello a 10 Å dell'illite, misurata sui diffrattogrammi), essa ci fornisce delle informazioni sul grado d'ordine del reticolo cristallino e sulla dimensione dei cristalli. Valori elevati indicano un basso grado di cristallinità, mentre valori ridotti denotano un alto grado della medesima. La chimica dell'illite è stata ricavata dalla posizione del picco a 10 Å e dal rapporto dell'area del picco a 5 Å e a 10 Å dell'illite. Rapporti $> 0,4$ corrispondono a illiti ricche in alluminio (muscoviti). Il valore diminuisce con la sostituzione di magnesio e ferro al posto dell'alluminio nel sito ottaedrico. Le illiti con molto ferro e magnesio (biotiti) hanno quindi un valore $< 0,15$.

L'unità I (CRP-3; fig.12), compresa tra 35 e 33,6 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998), è costituita interamente da smettite autigena, da "molto ben cristallina" a "ben cristallina". Ricerche effettuate su questa unità hanno messo in evidenza che i cristalli di

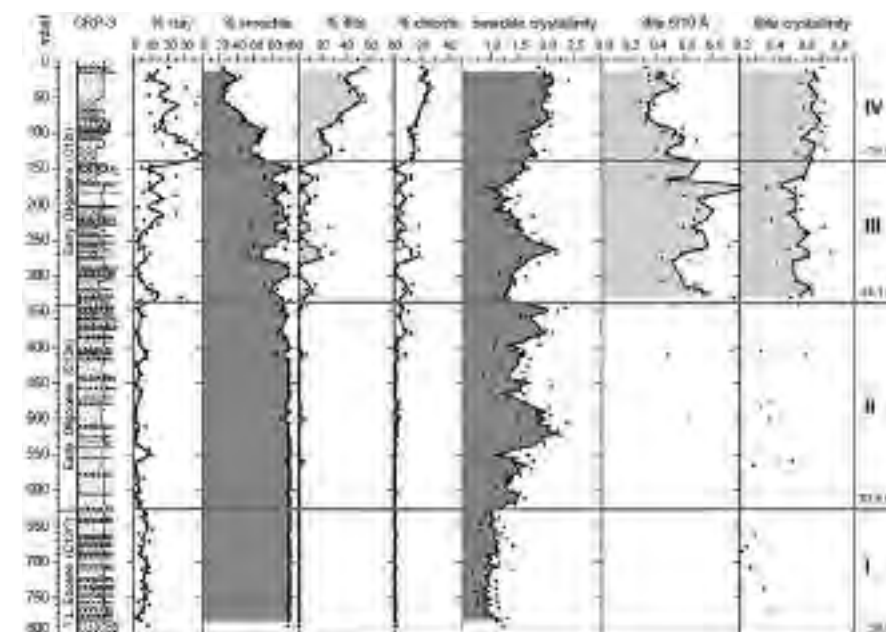
10. Contenuto in argilla, distribuzione dei principali minerali argillosi, cristallinità della smettite e dell'illite e rapporto dell'area del picco 5/10-Å nei sedimenti della perforazione CRP-1



11. Contenuto in argilla, distribuzione dei principali minerali argillosi, cristallinità della smettite e dell'illite e rapporto dell'area del picco 5/10-Å nei sedimenti della perforazione CRP-2/2A



12. Contenuto in argilla, distribuzione dei principali minerali argillosi, cristallinità della smettite e dell'illite e rapporto dell'area del picco 5/10-Å nei sedimenti della perforazione CRP-3



pirosseno possono essere sostituiti dalla smettite (Cape Roberts Science Team 2000) e che sui granuli di quarzo sono presenti crescite raggiate di smettite autigena (Wise *et al.* 2001). La natura delle argille di neoformazione e le loro associazioni non cambiano verso il fondo del pozzo, ma variano all'interno di rocce chimicamente differenti: per esempio le smettiti diottaedriche (ricche in alluminio) di neoformazione si ritrovano nei sedimenti, mentre le smettiti autigene triottaedriche (ricche in magnesio) sono dominanti nelle rocce mafiche (Giorgetti *et al.* 2007). Si può ipotizzare che le argille autigene si siano formate attraverso l'alterazione di materiale vulcanico; il processo di neoformazione, inoltre, richiede l'intervento di fluidi circolanti, i quali potrebbero in questo caso avere un'origine idrotermale. Sulla base di queste evidenze, possiamo ritenere con certezza che le smettiti autigene obliterano il segnale paleoclimatico; di conseguenza, l'unità I risulta non utilizzabile ai fini di una ricostruzione paleogeografica e paleoambientale.

L'unità II (CRP-3; fig. 12), compresa tra 33,6 e 33,1 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998), è caratterizzata in netta prevalenza dalla smettite. La differenza sostanziale tra questa unità e la precedente è data dalla presenza di intervalli con smettite "scarsamente cristallina" che si alternano a intervalli con smettite "molto ben cristallina". Oltre alla smettite autigena è presente anche una minore quantità di smettite detritica con basso grado di cristallinità. Ehrmann *et al.* (2005) ritengono che la smettite detritica derivi da alterazione chimica in condizioni umide. Altre evidenze sedimentologiche, come ad esempio le striature nei clasti, indicano un'attività glaciale. È verosimile ipotizzare uno scenario con ghiacciai temperati come quelli attuali del Cile meridionale e dell'Alaska.

L'unità III (CRP-3; fig.12), compresa tra 33,1 e 31 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998), mostra un'associazione di minerali argillosi dominata da smettite, sia di tipo detritico che autigeno. Essa differisce dall'unità precedente per la presenza di illite e clorite in chiara alternanza ciclica. Gli intervalli ricchi in smettite detritica indicano un'alterazione chimica in condizioni umide, mentre gli intervalli con prevalenza di illite e clorite sono un indizio di condizioni climatiche più asciutte e fresche, caratterizzate da alterazione fisica.

L'unità IV (CRP-2/2A e CRP-3; figg. 11-12), compresa fra 31 e 30,5 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998), presenta intervalli con abbondanza di

smettite alternati ad altri ricchi in illite: scenario tipico di condizioni climatiche umide (con alterazione di tipo chimico) intervallate a condizioni più fresche e asciutte (favorevoli all'alterazione di tipo fisico). La combinazione di queste caratteristiche con altri parametri sedimentologici suggerisce un clima temperato-freddo con ghiacciai politermici simile a quello attuale delle Isole Svalbard (Norvegia).

L'unità V (CRP-2/2A; fig. 11), compresa fra 30,5 e 24,2 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998), è caratterizzata da un'alternanza di intervalli a prevalente smettite con altri ricchi in illite. La principale differenza rispetto all'unità precedente è data dalla minore cristallinità della smettite. Questo è probabilmente il risultato di un'alterazione meno chimica e più fisica, dovuta verosimilmente a un intensificarsi delle condizioni glaciali. Il lieve decremento nel contenuto di smettite, il cambiamento della chimica dell'illite verso una composizione più biotitica e un generale decremento nella cristallinità dell'illite suggeriscono indicazioni analoghe.

L'unità VI (CRP-1 e CRP-2/2A; figg. 10-11), compresa fra 24,2 e 18,5 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998), presenta un netto dominio dell'illite rispetto agli altri minerali argillosi, i quali restano quantitativamente uniformi. Ugualmente uniforme risulta la loro cristallinità e la loro composizione chimica. Questa associazione è tipica di un'intensa e persistente alterazione fisica in condizioni glaciali. Lo scenario proposto è quello di un clima subpolare con masse glaciali politermiche (con una combinazione di ghiaccio sopra e sotto il punto di congelamento).

L'unità VII (CRP-1; fig. 10) ha una base datata a circa 18,5 milioni di anni (Cape Roberts Science Team 1998). È da notare che i depositi a essa riferiti sono interessati da una lacuna sedimentaria abbracciante diversi milioni di anni (la lacuna comprende gran parte del Miocene, il Pliocene e, forse, parte del Quaternario), per cui le deduzioni rimangono condizionate da questo aspetto. Si possono comunque osservare tre intervalli con concentrazioni più elevate di smettite: due nella porzione miocenica e uno in quella quaternaria. Queste concentrazioni, unitamente alla composizione chimica del minerale, suggeriscono una sorgente di tipo vulcanico riscontrabile nell'area del Mare di Ross. Secondo la letteratura (Cape Roberts Science Team 1998; Powell *et al.* 1998; Davey *et al.* 2001), la sedimentazione si è realizzata in un regime climatico polare, con alterazione fisica sul continente antartico.

Testi citati

Abreu V.S. & Anderson J.B. (1998) - *Glacial eustasy during the Cenozoic: sequence stratigraphic implications*. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 82: 1385-1400.

Barrett P.J. (1999) - *Antarctic climate history over the last 100 million years*. Terra Antart. Repts., 3: 53-72.

Barrett P.J., Ricci C.A., Davey F.J., Ehrmann W., Hambrey M.J., Jarrard R.D., Van der Meer J.J.M., Raine J.I., Roberts A.P., Talarico F. & Watkins D.K. (Eds.) (2000a) - *Studies from the Cape Roberts Project, Ross Sea, Antarctica. Scientific Report of CRP- 2/2A: Part I. Geophysics and Physica Properties, Sedimentary Environments*, Terra Antart., 7 (3): 211-412.

Barrett P.J., Ricci C.A., Davey F.J., Ehrmann W., Hambrey M.J., Jarrard R.D., Van der Meer J.J.M., Raine J.I., Roberts A.P., Talarico F. & Watkins D.K. (Eds.) (2000b) - *Studies from the Cape Roberts Project, Ross Sea, Antarctica. Scientific Report of CRP- 2/2A: Part II. Palaeontological Studies, Provenance and Climate from Petrology, Chronology and Chronostratigraphy*, Terra Antart., 7 (4): 413-665.

Barrett P.J., Ricci C.A., Bucker C.J., Davey F.J., Ehrmann W., Laird M.G., Van der Meer J.J.M., Raine J.I., Smellie J.L., Talarico F., Thomson M.R.A., Verosub K.L. & Villa G. (eds.) (2001a) - *Studies from the Cape Roberts Project, Ross Sea, Antarctica. Scientific Report of CRP-3: Part I. Geophysics and Tectonic Studies, Sedimentary Environments*, Terra Antart., 8 (3): 119-308.

Barrett P.J., Ricci C.A., Bucker C.J., Davey F.J., Ehrmann W., Laird M.G., Van der Meer J.J.M., Raine J.I., Smellie J.L., Talarico F., Thomson M.R.A., Verosub K.L. & Villa G. (eds.) (2001b) - *Studies from the Cape Roberts Project, Ross Sea, Antarctica. Scientific Report of CRP-3: Part II. Palaeontological Studies, Provenance and Climate From Petrology, Chronology and Chronostratigraphy*, Terra Antart., 8 (4): 309-621.

Bartek L.R., Henrys S.A., Anderson J.B. & Barrett P.J. (1996) - *Seismic stratigraphy of McMurdo Sound, Antarctica: implications for glacially influenced Early Cenozoic eustatic change?*. Mar. Geol., 130: 79-98.

Billups K. & Schrag D.P. (2003) - *Application of benthic foraminiferal Mg/Ca ratios to questions of Cenozoic climate change*. Earth Planet. Sci. Lett., 209: 181-195.

Biscaye P.E. (1965) - *Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans*. Geol. Soc. Am. Bull., 76: 803-832.

Chamley H. (1989) - *Clay Sedimentology*. Springer.

Cape Roberts Science Team (1998) - *Initial report on CRP-1*, Cape Roberts Project, Antarctica. Terra Antart., 5 (1).

Cape Roberts Science Team (2000) - *Studies from the Cape Roberts Project, Ross Sea, Antarctica*. Initial report on CRP-3. Terra Antart., 7 (1/2).

Davey F.J., Barrett P.J., Cita M.B., Van der Meer J.J.M., Tessensohn F., Thomson M.R.A. Webb P.-N. & Woolfe K.J.

(2001) - *Drilling for Antarctic Cenozoic climate and tectonic history of Cape Roberts, southwestern Ross Sea*. Eos, 82 (48): 585-590.

Ehrmann W., Melles M., Khun G. & Grobe H. (1992) - *Significance of clay mineral assemblages in the Antarctic Ocean*. Mar. Geol., 107: 249-273.

Ehrmann W. (1998b) - *Implications of Late Eocene to Early Miocene clay mineral assemblages in McMurdo Sound (Ross Sea, Antarctica) on paleoclimate and ice dynamics*. Paleogeog. Paleocl. Paleoec., 139: 213-231.

Ehrmann W., Setti M. & Marinoni L. (2005) - *Clay minerals in Cenozoic sediments off Cape Roberts (McMurdo Sound, Antarctica) reveal palaeoclimatic history*. Paleogeog. Paleocl. Paleoec., 229: 187-211.

Giorgetti G., Aghib F.S., Livi K.J.T., Gaillot A.C. & Wilson T.J. (2007) - *Newly formed phyllosilicates in rock matrices and fractures from CRP-3 core (Antarctica): an electron microscopy study*. Clay Minerals, 42: 21-43.

Griffin J. J., Windom H. & Goldberg E.D. (1968) - *The distribution of clay minerals in the World Ocean*. Deep-Sea Res., 15: 433-459.

Hambrey M. J. & Barrett P.J. (1993) - *Cenozoic sedimentary and climatic record from Ross Sea Region, Antarctica*. In: Kennett J.P. & Warnke D.A. (eds), *The Antarctic Paleoenvironment: A Perspective on Global Change. Part Two. An Ocean Drilling Perspective*. Antarctic Research Series, 60: 90-124.

Hambrey M. J., Wise S., Barrett P., Davey F., Ehrmann W., Smellie J., Villa G. & Woolfe K. (eds), (1998) - *Studies from the Cape Roberts Project, Ross Sea, Antarctica*. Scientific Report of CRP-1, Terra Antart., 5 (3).

Lisitzin A. P. (1972) - *Sedimentation in the World Ocean*. SEPM Spec. Publ., 17.

Mackensen A. (2004) - *Changing southern ocean palaeocirculation and effects on global climate*. Antarct. Sci., 16 (4): 369-386.

Powell R.D., Hambrey M.J. & Krissek L.A. (1998) - *Quaternary and Miocene glacial and climatic history of the Cape Roberts drillsite region, Antarctica*. Terra Antart., 5 (3): 341-351.

Robert C. & Maillot H. (1990) - *Paleoenvironment in the Weddell Sea area and Antarctic climates, as deduced from clay mineral association and geochemical data*, ODP Leg 113. Proceedings ODP Science Results, 113: 51-70.

Singer A. (1984) - *The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments: a review*. Earth-Science Reviews, 21: 251-293.

Windom H.L. (1976) - *Lithogenous material in marine sediments*. In: J.P. Riley and R. Chester (Editors), *Chemical Oceanography*. Academic Press, New York, 5: 103-135.

Wise S.W., Smellie J., Aghib F., Jarrard R. & Krissek L. (2001) - *Authigenic smettite clay coats in CRP-3 drillcore, Victoria Land Basin, Antarctica, as a possible indicator of fluid flow: a progress report*. Terra Antart., 8 (3): 281-298.

Zachos J., Pagani M., Sloan L., Thomas E. & Billups K. (2001) - *Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present*. Science, 292: 686-693.

Mineralogia e salute: la questione amianto

Cecilia Viti

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina 8 - 53100 Siena.
cecilia.viti@unisi.it

I minerali sono ubiquitari in tutti gli ambienti in cui viviamo, sia in contesti naturali che antropizzati: sono componenti fondamentali dei materiali da costruzione (quali lapidei, laterizi, ceramiche, vernici e pigmenti); sono presenti come particelle aerodisperse nell'aria che respiriamo, nei cibi e nei liquidi che ingeriamo; possono avere un ruolo primario nella produzione di protesi ossee e dentarie, come eccipienti e principi attivi in farmaci, come componenti fondamentali in detersivi, dentifrici, creme e cosmetici. La maggior parte dei materiali solidi inorganici è costituita da minerali o dai loro equivalenti sintetici. L'ubiquità dei minerali comporta che minerali e organismo si trovino frequentemente a interagire, talvolta con effetti negativi sulla salute. Esiste, a tale riguardo, un crescente interesse da parte dell'opinione pubblica e della comunità scientifica nei confronti dei problemi di salute derivanti dalla inalazione di particelle minerali. Tali problemi riguardano

soprattutto l'apparato respiratorio e possono manifestarsi in seguito a inalazione di minerali di amianto (asbestosi e mesotelioma, forma tumorale che colpisce la pleura), di polveri di quarzo (silicosi) e delle cosiddette polveri sottili (PM1, PM2.5, PM5, PM10, ovvero particelle di dimensioni submicrometriche-micrometriche, a composizione variabile). Il problema "amianto" è forse quello che negli ultimi anni ha maggiormente attirato l'attenzione pubblica italiana, per la presenza, sul suolo nazionale, della più grande miniera europea di amianto a cielo aperto (Balangero; fig. 1), per la risonanza dei numerosi casi che hanno interessato i lavoratori e gli abitanti di Casale Monferrato (sede delle industrie Eternit; figg. 2-3), di Grugliasco (sede della SIA, Società Italiana Amiantifera) o per le recenti manifestazioni di dissenso nei confronti della linea ad alta velocità in Val di Susa. Il ruolo dell'amianto nell'insorgenza di malattie polmo-



1. Miniera di Balangero: "In una collina tozza e brulla, tutta scheggioni e sterpi, si affondava una ciclopica voragine conica [...] era in tutto simile alle rappresentazioni schematiche dell'Inferno [...]. L'operazione procedeva in mezzo ad un fracasso da apocalissi, in una nube di polvere che si vedeva fin dalla pianura [...]. C'era amianto dappertutto, come una neve cenerina: se si lasciava per qualche ora un libro su di un tavolo, e poi lo si toglieva, se ne trovava il profilo in negativo [...]" (Primo Levi, *Il sistema periodico*) (foto da web, modificata)



2. Pannello di Eternit prodotto nello stabilimento di Casale Monferrato, fallito nel 1986



3. Dettaglio di un pannello di Eternit con la tipica coesistenza di fibre bianche (crisotilo) e blu (crocidolite) (foto G. Pagani)

5 (a destra). Rappresentazione della struttura del serpentino, caratterizzato dalla sovrapposizione di fogli ottaedrici O e tetraedrici T; i fogli sono planari nella lizardite mentre sono arrotolati nel crisotilo, generando cristalli ad abito fibroso con un foro centrale

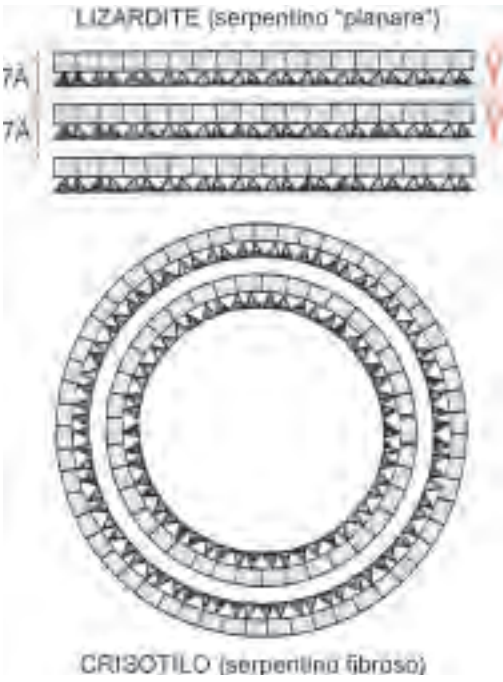
nari, quali l'asbestosi e il mesotelioma, ha portato all'esigenza di un attento monitoraggio e alla eventuale necessità di intervenire con azioni di incapsulamento, rimozione, bonifica e inertizzazione (principalmente descritte nella legge 257 del 1992, *Norme relative alla cessazione nell'impiego dell'amianto*). È da sottolineare tuttavia come, in molti casi, il problema venga affrontato con scarsa competenza, conducendo a strategie di intervento poco adatte (se non addirittura dannose), a normative inadeguate e scarsamente applicabili, ad atteggiamenti talvolta eccessivi e allarmistici (fig. 4). La corretta gestione del problema non può prescindere da un'accurata conoscenza della mineralogia, della struttura, della composizione, della genesi e della distribuzione degli amianti.

Cosa è l'amianto?

Il termine "amianto" o "asbesto" è un termine commerciale con il quale si indica un gruppo di minerali naturali caratterizzati da abito fibroso (ovvero aventi diametro inferiore a 3 μm, lunghezza superiore a 5 μm e un



4. Da "Repubblica", 2007



rapporto lunghezza/diametro di almeno 3/1; limiti definiti dalla normativa sulla base di un principio di respirabilità). Sebbene molti minerali soddisfino tali requisiti dimensionali (e siano pertanto respirabili e potenzialmente dannosi), la normativa classifica come minerali di amianto la varietà fibrosa del serpentino (crisotilo) e alcune varietà fibrose dell'anfibolo (in particolare, antofillite, tremolite, actinolite, amosite e crocidolite).

Il crisotilo

Si tratta della varietà fibrosa dei minerali del serpentino, ovvero fillosilicati di magnesio, caratterizzati da una successione di fogli T e O (rispettivamente, tetraedrico e ottaedrico), con periodicità nella direzione di sovrapposizione pari a circa 7 Å e con composizione chimica ideale $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. Le varietà non fibrose del serpentino sono la lizardite (caratterizzata da fogli TO planari; fig. 5) e l'antigorite (caratterizzata da fogli TO corrugati). Nel caso del crisotilo, i fogli TO risultano completamente arrotolati (fig. 5), generando quindi

cristalli ad abito fibroso con un diametro relativamente costante di 300-400 Å; le fibre di crisotilo sono caratterizzate da un foro centrale, analogamente a quanto si otterrebbe arrotolando un tappeto oppure una risma di fogli di carta. La figura 6 mostra la struttura del crisotilo al microscopio elettronico a trasmissione (TEM): nella figura è rappresentato un fascio di fibre di crisotilo, in sezione perpendicolare all'asse della fibra (complessivamente, sono evidenti le sezioni circolari di quattro fibre): le linee concentriche intorno ai fori centrali (bianchi) corrispondono alle tracce dei piani TO del serpentino, tra loro distanziati di 7 Å.

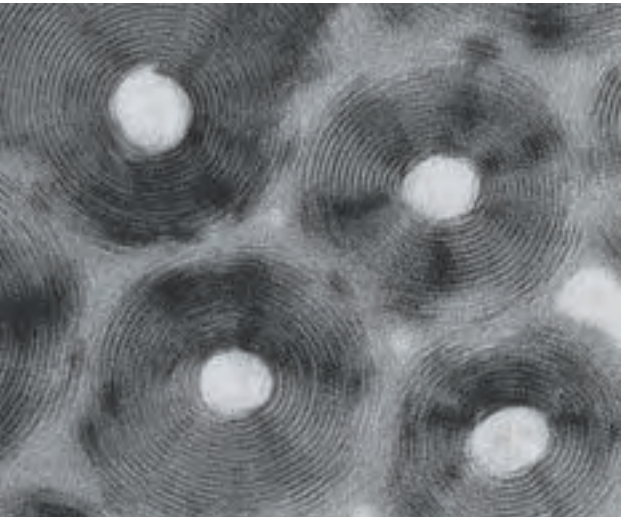
Considerate le dimensioni ridotte (circa 400 Å in diametro), si sottolinea come la singola fibra di crisotilo non possa essere rivelata in microscopia ottica o in microscopia elettronica a scansione (SEM), dove, viceversa, saranno eventualmente risolti (cioè visibili) fasci compatti di più fibre. Tale ovvia considerazione ha importanti ricade

sulla significatività e sulla accuratezza delle misure quantitative (quante fibre sono presenti in un campione?), frequentemente richieste dalle normative vigenti e di solito eseguite al microscopio ottico o al SEM.

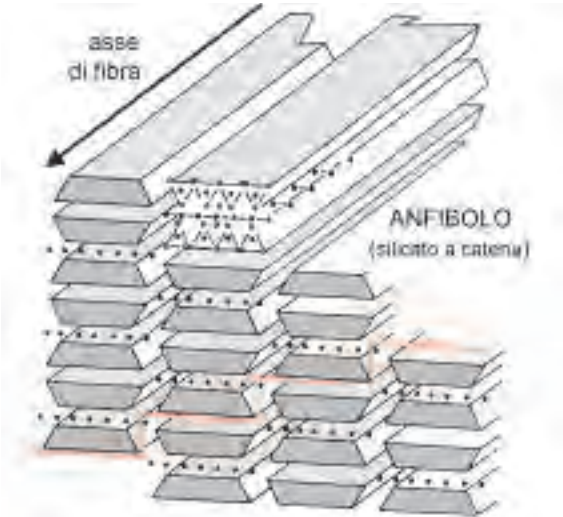
La figura 7 mostra un campione naturale di crisotilo, tipicamente in fibre bianche, lunghe e facilmente filabili; lo stesso campione, esaminato al microscopio elettronico a scansione, risulta costituito da fasci micrometrici ad andamento curvo e flessibile, formati da singole fibre di dimensioni sub-micrometriche (fig. 9).

Gli amianti di anfibolo

Gli anfibioli sono inosilicati, cioè silicati a catena. La loro struttura a catena, unitamente alla esistenza di piani di debolezza strutturale (sfaldature), spiega il frequente abito aciculare-fibroso di questi minerali (fig. 8);



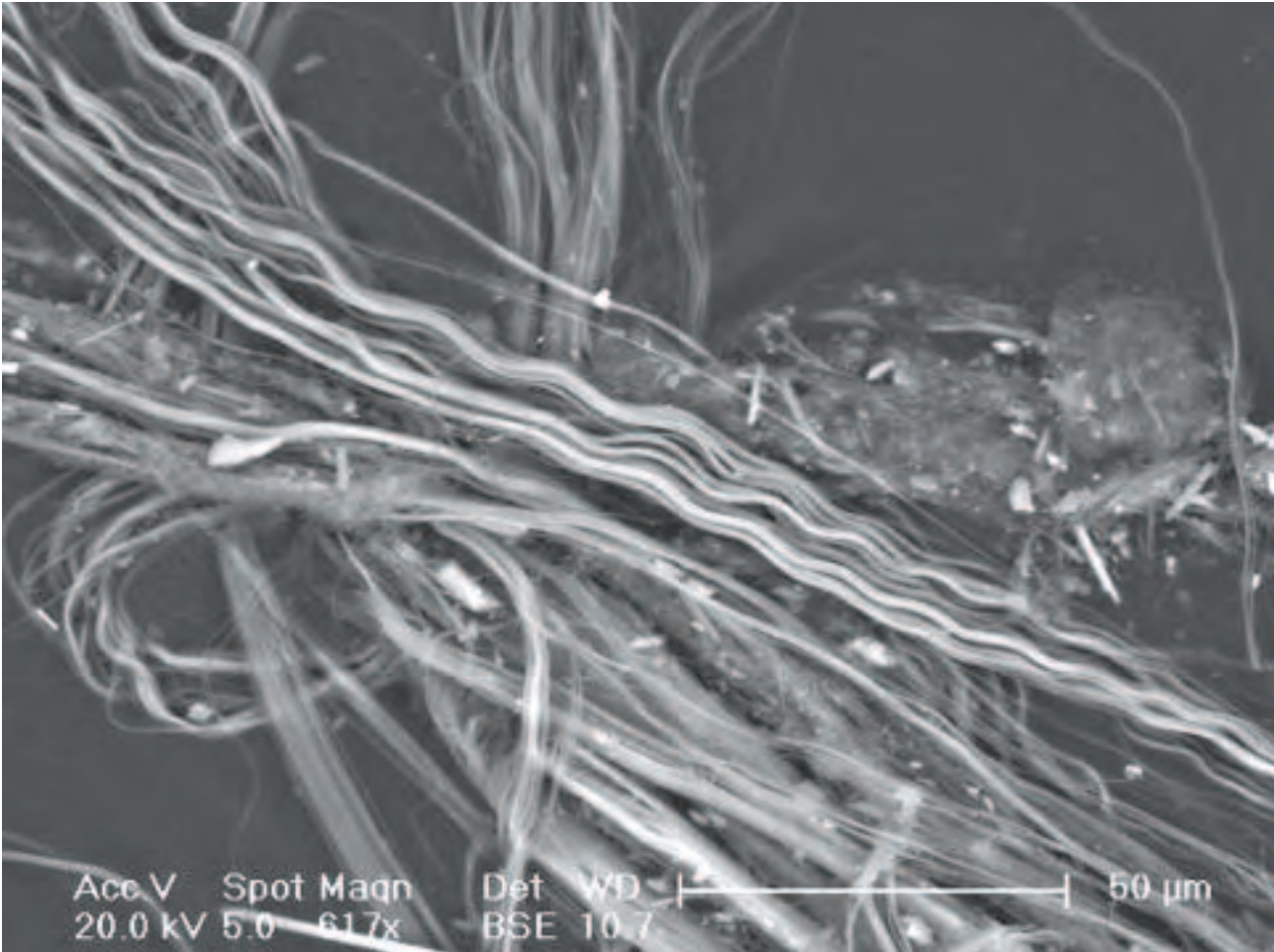
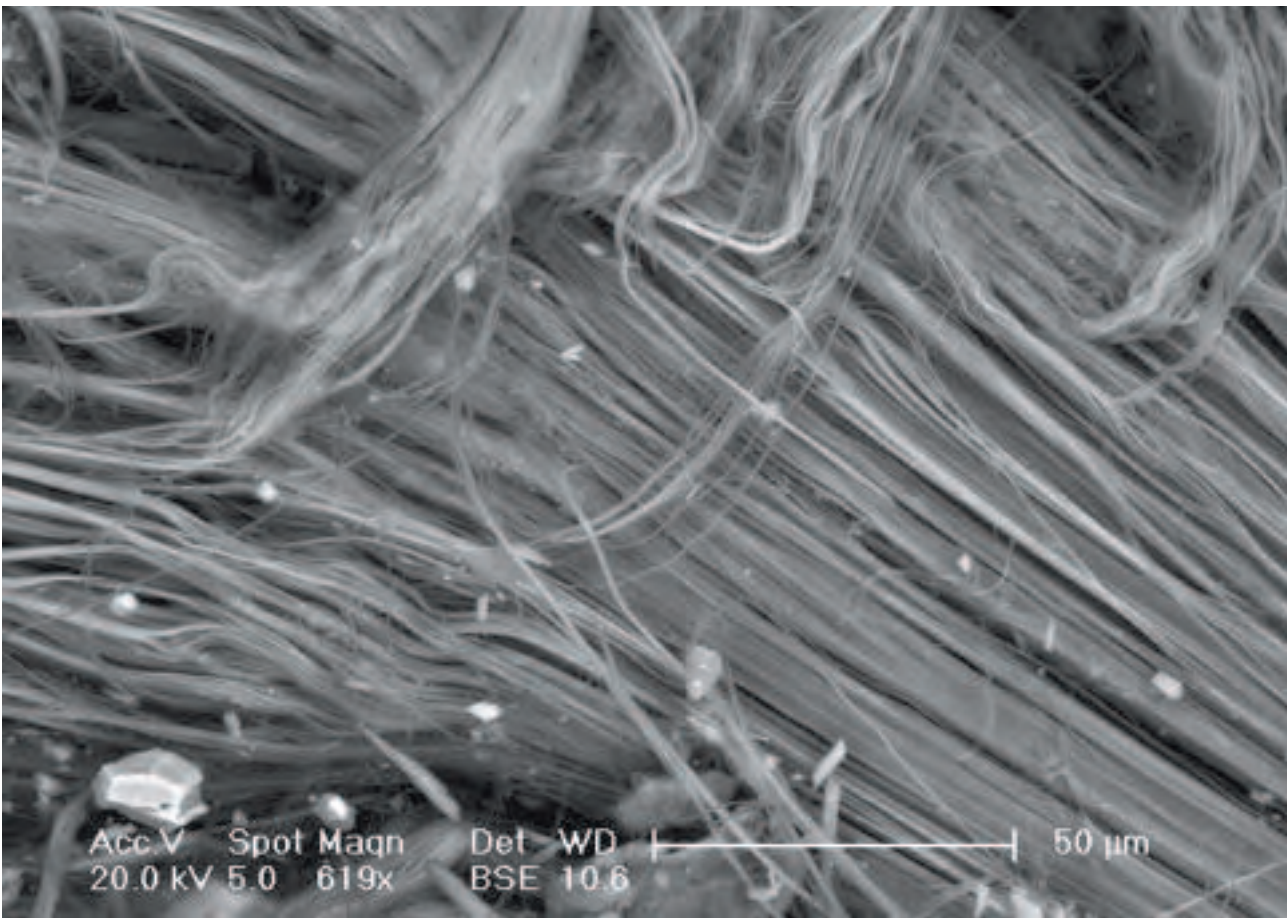
6. Immagine TEM di quattro fibre di crisotilo, nella sezione perpendicolare all'asse di fibra; le linee concentriche attorno al foro centrale (bianco) corrispondono ai piani TO del crisotilo, tra loro distanziati di 7 Å



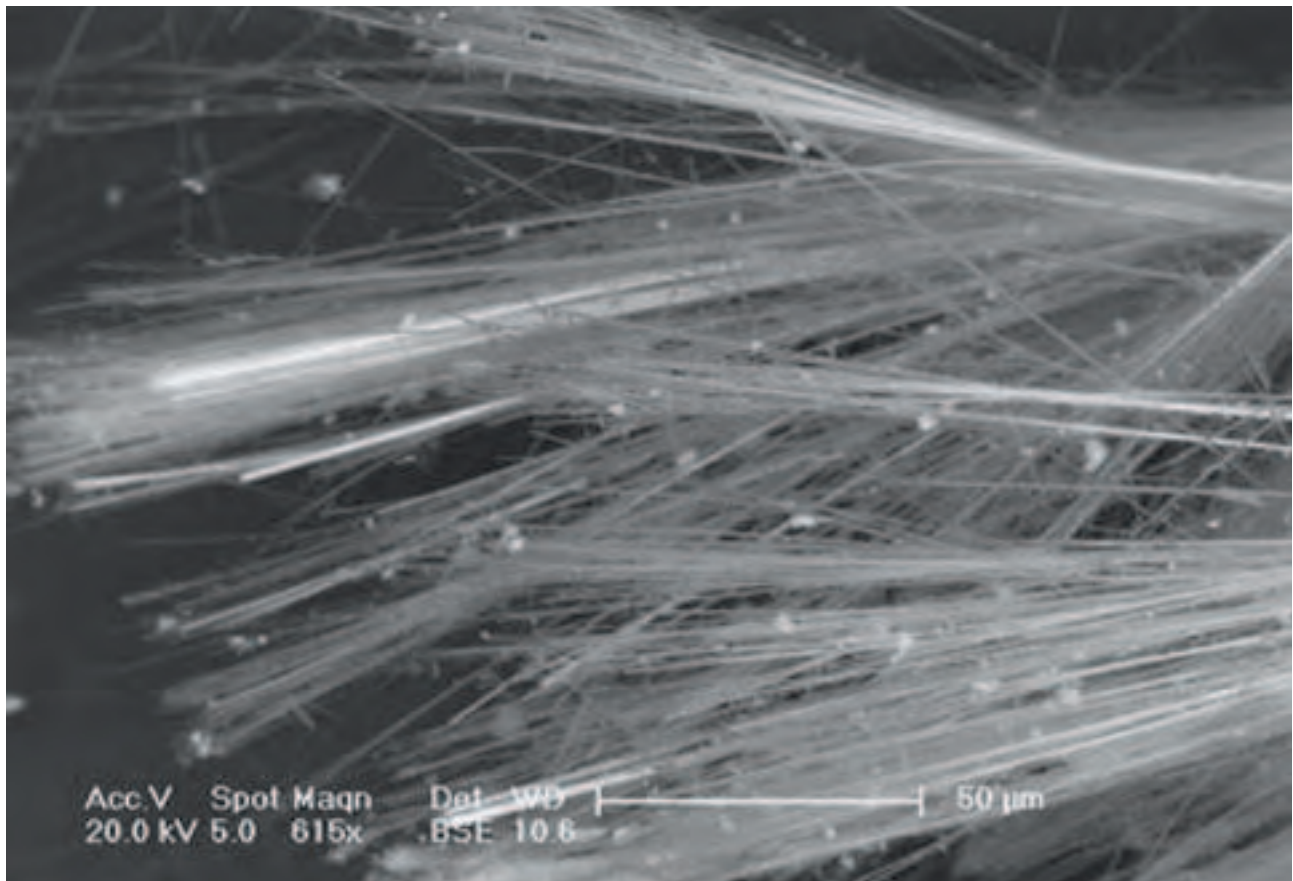
8. Rappresentazione della struttura dell'anfibolo (silicato a catena): l'asse di fibra corrisponde alla direzione delle catene silicatiche, mentre la linea arancione evidenzia l'andamento di piani di debolezza strutturale (piani di sfaldatura)



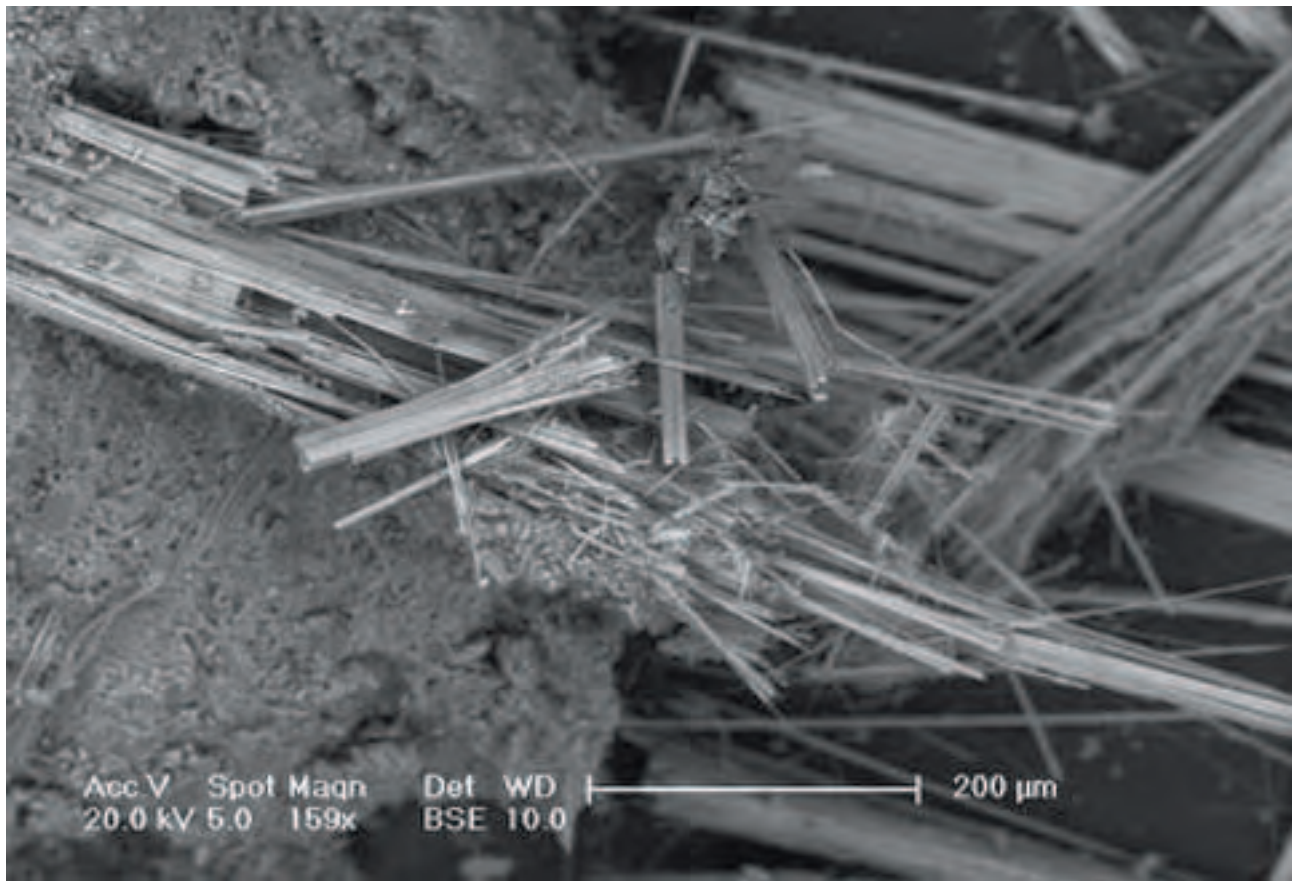
7. Campione di crisotilo a fibra lunga (foto G. Pagani)



9. Immagini al microscopio elettronico a scansione (circa 600 ingrandimenti) relative al campione di crisotilo riportato in figura 7

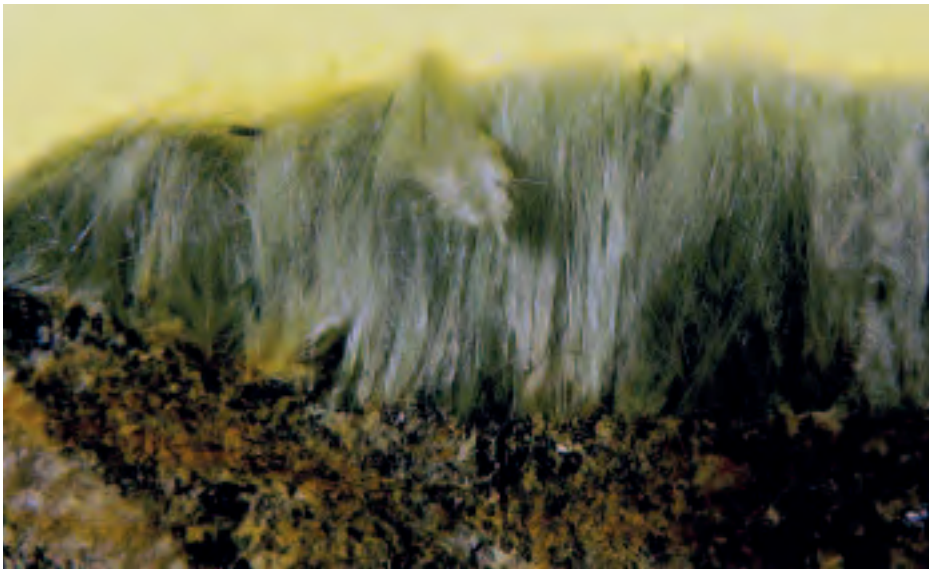


10. Fasci di tremolite fibrosa da campione naturale (immagine SEM, circa 600 ingrandimenti)



11. Fibre di crocidolite presenti in un pannello di Eternit (stesso campione della figura 3, fibre blu); immagine SEM, circa 150 ingrandimenti

12. Vene costituite da fibre di anfibolo (vene “cross-fibre”, ovvero con asse di fibra perpendicolare alle pareti di vena); lo spessore delle vene è di circa 1 centimetro (foto G. Pagani)



l'asse delle fibre di anfibolo corrisponde alla direzione delle catene silicatiche.

Secondo normativa, sono considerati amianti di anfibolo le varietà fibrose di

- grunerite: $Mg_2 (Mg,Fe)_5 Si_8 O_{22}(OH)_2$ (nome commerciale: amosite, da “Asbestos Mines of South Africa”)
- riebeckite: $Na_2 (Fe,Mg)_5 Si_8 O_{22}(OH)_2$ (nome commerciale: crocidolite, ben riconoscibile per la sua marcata colorazione blu)
- tremolite: $Ca_2 (Mg,Fe)_5 Si_8 O_{22}(OH)_2$
- actinolite: $Ca_2 (Mg,Fe)_5 Si_8 O_{22}(OH)_2$
- antofillite: $Mg_2 (Mg,Fe)_5 Si_8 O_{22}(OH)_2$

Le immagini riportate nelle figure 10 e 11 mostrano il tipico aspetto delle fibre di anfibolo al SEM (tremolite, da campione naturale, e crocidolite, da pannello di Eternit, rispettivamente); rispetto alle fibre di crisotilo (fig. 9), le fibre di anfibolo mostrano un aspetto più rigido e scheggioso, facilitandone il riconoscimento anche sulla base di una semplice osservazione morfologica.

Dove si trova l'amianto in natura?

Sia il crisotilo sia gli amianti di anfibolo sono nella maggioranza dei casi associati a rocce mafiche e ultramafiche che, in contesti commerciali o comunque non strettamente scientifici, sono spesso denominate come “pietre o rocce verdi” a causa della loro marcata colorazione verde scura. Tra queste è oggetto di particolare attenzione la serpentinite, una roccia ultramafica formata per idratazione di rocce di mantello (peridotiti) e spesso utilizzata come materiale lapideo e ornamentale. Ad esempio, la Regione Emilia Romagna ha recentemente realizzato uno studio intitolato *Progetto regionale Pietre Verdi: le ofioliti, la loro estrazione e il problema amianto*: il progetto ha portato a una catalogazione degli affioramenti di serpentinite nell'Appennino emiliano, corredata di dati relativi alla presenza, alla tipologia di amianto eventualmente presente e all'oggettiva pericolosità dei vari siti. Un'analogha iniziativa è attualmente in corso anche in Toscana.



13. Duomo di Siena: le parti verde scuro sono costituite da liste del cosiddetto “marmo nero di Vallerano”, che in realtà è una serpentinite massiva proveniente dalle cave della zona di Murlo

Le fibre di amianto (sia crisotilo sia anfibolo) possono essere disperse all'interno della roccia massiva (dove compaiono anche le corrispondenti forme non fibrose), ma nella maggioranza dei casi si ritrovano in vene di dimensioni variabili (da submillimetriche fino a metriche), in fratture, in zone di alterazione o in fasce di intensa deformazione tettonica. Le fibre eventualmente presenti all'interno della roccia massiva sono difficilmente rilasciabili, a meno di pesanti operazioni di lavorazione e macinazione (quali si potrebbero realizzare nel caso di sbancamenti stradali e scavi); viceversa, la pericolosità di un certo affioramento è molto più dipendente da frequenza e ampiezza delle vene, dall'entità della fratturazione e dal grado di alterazione della roccia.

Le vene di amianto sono di solito monomineraliche (costituite cioè da un solo tipo di minerale fibroso) e risultano formate da fibre isorientate, disposte o perpendicolarmente (*cross-fibre veins*) oppure inclinate (*slip-fibre veins*) rispetto alle pareti di vena. Le immagini riportate in figura 12 mostrano due esempi di vene di tipo “cross-fibre”, costituite da anfibolo fibroso, all'interno di rocce ultramafiche e mafiche (destra e sinistra, rispettivamente).

I principali depositi di amianto sono localizzati in Canada, Brasile, India, Sud Africa, Italia, Finlandia, Russia; la maggior parte delle miniere è attualmente inattiva, sebbene in alcune nazioni l'estrazione sia ancora consentita (ad esempio in Canada e Brasile).

Proprietà, applicazioni e pericolosità dell'amianto

Come mai i minerali di amianto sono stati così abbondantemente utilizzati in passato? La spiegazione va ricercata nelle loro eccezionali proprietà, non facilmente riscontrabili negli equivalenti composti non

fibrosi né in altri materiali naturali e sintetici. Tali proprietà sono principalmente l'elevata resistenza meccanica (flessibilità, resistenza alla trazione, filabilità), l'elevata resistenza termica e chimica (con buona stabilità sia in ambiente acido che basico), l'elevata superficie libera e l'elevata stabilità di superficie. Tali proprietà ne hanno determinato l'abbondante impiego in vari manufatti di cemento-amianto (tipo Eternit), come coibenti e isolanti termici (pannelli, tessuti, corde e cartoni), come componenti di freni e frizioni, fino ad arrivare a usi più singolari, ad esempio nei filtri di sigarette (Kent) o in scenari teatrali per la simulazione della neve. Nei prodotti più comuni (quali l'Eternit) sono presenti crisotilo, crocidolite e amosite (singolarmente oppure in miscele), mentre sono molto più rare le altre varietà di anfibolo. Il crisotilo ha rappresentato circa il 90% del consumo di amianto, mentre crocidolite e amosite hanno rappresentato circa il 5%.

I vari tipi di amianto, dotati di struttura e composizione chimica diverse, non hanno indistintamente le stesse proprietà, come evidente dalla tabella sotto riportata, dove sono confrontati, in maniera puramente qualitativa, i più comuni tipi di amianto:

	crisotilo	crocidolite	amosite
resistenza al calore	buona	buona	scarsa
T°C di decomposizione	450-700	600-800	400-600
resistenza agli acidi	scarsa	buona	media
resistenza agli alcali	molto buona	buona	buona
flessibilità	molto buona	buona	media
filabilità	molto buona	buona	media

Le diverse proprietà dei vari tipi di fibra hanno ripercussioni su tre diversi aspetti:

- l'impiego differenziato dei vari tipi di amianto (ad esempio, tessuti e corde erano prodotti utilizzando

esclusivamente crisotilo, mentre nel caso di manufatti per i quali era richiesta una maggiore resistenza termica e chimica si ricorreva all'impiego di miscele con crocidolite);

- la scelta della tecnica e delle modalità di inertizzazione (ad esempio, opportunità o meno di trattamento chimico o termico; valutazione della temperatura necessaria per il processo di inertizzazione);
- la diversa pericolosità dei vari tipi di amianto (in particolare attraverso una differenziata resistenza in ambiente biologico, diverse cinetiche di reazione, diversi tempi di persistenza nel tessuto polmonare).

Quest'ultimo aspetto ha riscontri oggettivi anche negli studi epidemiologici, sulla base dei quali, mentre appare conclamato l'effetto cancerogeno della crocidolite, responsabile in particolare della insorgenza di placche pleuriche e mesotelioma (tumore della pleura), meno evidente risulta la relazione con esposizione a crisotilo (caratterizzato da una scarsa resistenza in ambiente acido).

Altre fibre minerali e sintetiche

Altri minerali, oltre a quelli sopra descritti, rispondono ai requisiti dimensionali di fibra respirabile, ma non vengono considerati come amianti dalla normativa vigente; alcuni di questi sono comuni in natura e vengono anche utilizzati in manufatti di vario genere, ad esempio alcune zeoliti, alcuni anfiboli (oltre a quelli regolamentati come amianti), oppure particolari fillosilicati quali sepiolite e palygorskite.

Da questo punto di vista, è sorprendente come l'episodio di più ampia diffusione del mesotelioma (forma tumorale dichiaratamente legata a inalazione di amianto) non sia in realtà associato a nessuna forma di amianto regolamentato. In particolare, intorno agli anni settanta, in alcuni villaggi della Cappadocia furono registrati numerosi casi di mesotelioma, tanto che la mortalità per questa particolare forma tumorale aveva addirittura toccato valori del 45%. Studi incrociati sulla geologia della zona, sul tipo di materie prime utilizzate e sulle biopsie dei pazienti rivelarono inequivocabilmente che il minerale responsabile del mesotelioma era l'erionite, una varietà fibrosa di zeolite presente nei tufi vulcanici e

nelle argille della zona, entrambi utilizzati come materiale da costruzione.

Il quadro attuale è ulteriormente complicato dal fatto che, oltre alle molte fibre minerali (di origine naturale), esistono numerosi tipi di fibre sintetiche (lana di vetro, lana di roccia, fibre di vetro, fibre ceramiche refrattarie), ciascuna con caratteristiche morfologiche/dimensionali, strutturali e composizionali diverse. Nella maggioranza dei casi si tratta di vetri borosilicatici con composizione variabile, in fibre aventi diametro di 5-17 µm (ovvero difficilmente respirabili).

Conclusioni

Considerati i molteplici aspetti della “questione amianto”, è ovvio che il presente contributo è ben lontano dall'essere esaustivo sull'argomento. In alcuni casi, nonostante il tentativo di “imparzialità”, è forse emersa la personale opinione dell'autore riguardo all'opportunità di un atteggiamento ragionato e non allarmistico, particolarmente nel caso dei campioni naturali quali le serpentiniti, talvolta oggetto di infondate “discriminazioni litologiche”. Nel 2010 alcuni esponenti politici dello stato della California hanno chiesto di cambiare la propria roccia simbolo di stato, da 45 anni individuata nella serpentinite, perché cancerogena e quindi poco consona: il “New York Times” nel luglio 2010 riportava un editoriale dal titolo *California's great de-rocking debate [...] Pity, poor serpentinite, the official state rock in California. After 45 years, it is in danger of being dethroned*. Speriamo che a nessuno venga in mente di rimuovere le liste verdi scure dal duomo di Siena (fig. 13).

Riferimenti bibliografici

Guthrie G.D. & Mossman B.T. (1993) - *Health effects of mineral dust*. Reviews in Mineralogy, vol. 28, Mineralogical Society of America, P.H. Ribbe Series Editor.

Schreier H. (1989) - *Asbestos in the natural environment*. Studies in Environmental Science 37, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Skinner H.C., Ross M. & Frondel C. (1988) - *Asbestos and other fibrous materials*. Mineralogy, Crystal Chemistry and Health Effects. Oxford University Press, Oxford.

Vai G.B. (1998) - *Amianto: dall'allarmismo alla difesa*. Quaderni di Natura e Montagna, Patron Editore, Bologna.

Monitoraggio 2010 dei parametri chimici, fisici e biologici della Laguna di Orbetello

Francesca Borghini*, Luisa Lucattini*, Valerio Volpi**, Silvia Focardi*, Silvano Focardi**, Simone Bastianoni*

* Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Chimica, via Aldo Moro 2 - 53100 Siena.

** Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali, via Mattioli 4 - 53100 Siena.

borghini@unisi.it, volpival@unisi.it, silvia.focardi@unisi.it, silvano.focardi@unisi.it, simone.bastianoni@unisi.it

L'articolo s'inserisce nell'ambito di un progetto dell'Università di Siena finalizzato a valutare la possibilità di ricavare biocombustibili liquidi dalla biomassa algale che ogni anno viene raccolta nella Laguna di Orbetello (dopo l'estrazione degli oli, i residui algali possono anche essere utilizzati per la produzione di bioetanolo di seconda generazione e/o, previa loro combustione, di elettricità). In particolare l'articolo tratta di quella parte del progetto che riguarda il monitoraggio dei parametri chimico-fisici (temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto) e biologici (clorofilla *a*, la più universalmente diffusa nel regno vegetale) delle acque lagunari durante il primo anno di attività (2010). I parametri chimico-fisici costituiscono utili indicatori dell'insorgenza di fenomeni critici a carico del sistema biologico; la misura della clorofilla, in quanto pigmento indispensabile per il processo di fotosintesi, rappresenta invece un indicatore di biomassa autotrofa.

La Laguna di Orbetello e le sue problematiche ambientali

L'apporto di sedimenti da parte del Fiume Albegna e il loro rapido accumulo hanno permesso la formazione di cordoni litoranei o "tomboli" (della Giannella a nord e della Feniglia a sud; figg. 1), i quali hanno collegato l'Argentario alla terraferma dando luogo a quel vasto specchio di acque (inizialmente marine e successivamente salmastre per l'immissione di acque dolci da parte di piccoli corsi d'acqua) che prende il nome di Laguna di Orbetello. Essa è suddivisa dalla penisola di Orbetello in due parti comunicanti, chiamate rispettivamente Laguna di Ponente e Laguna di Levante; attraverso un ponte lungo circa un chilometro questa penisola si collega all'Argentario.

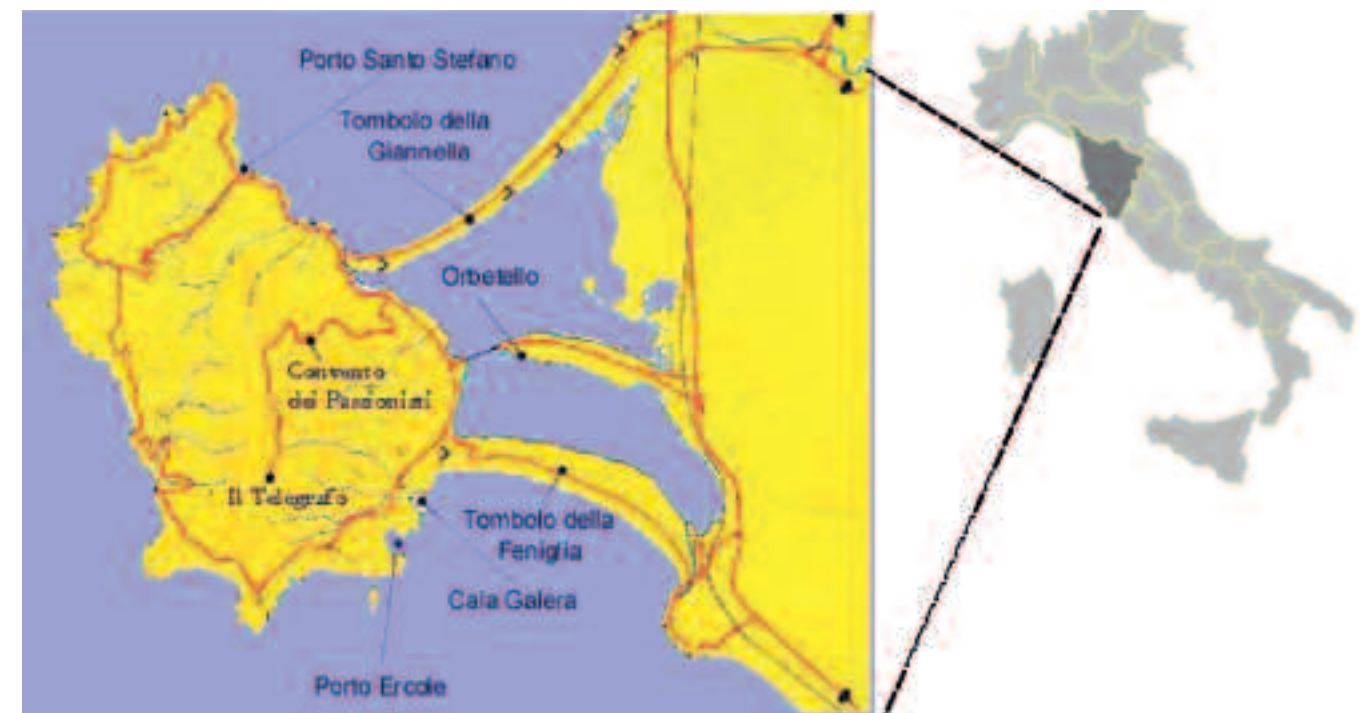
La Laguna di Orbetello ha un'estensione complessiva di circa 2700 ettari e una profondità media di circa un metro. Essa entra in comunicazione con il mare mediante un'apertura a ponente ("foce" Nassa) e una a levante ("foce" Ansedonia); una terza apertura a ponente ("foce" Fibbia) la collega al Fiume Albegna.

Insieme a tutte le aree umide circostanti, la laguna riveste una grande importanza, non solo dal punto di vista economico ma anche naturalistico, soprattutto per le innumerevoli specie di uccelli migratori che vi transitano e vi stazionano nei vari periodi dell'anno. Tra le specie più rare che sostano nelle sue acque ricordiamo il cormorano, l'airone bianco maggiore, il cavaliere d'Italia, l'avocetta, il fenicottero rosa, il falco pescatore, la spatola e diverse anatre. Oltre all'avifauna, non si devono dimenticare numerose specie di pesci anche di

pregio (cefali, orate, spigole, anguille e perfino saraghi ed aguglie), le quali da sempre, venendo pescate e lavorate direttamente sul posto, costituiscono un motore essenziale per lo sviluppo locale.

La laguna è stata inserita nel 1977 tra le Aree di Importanza Internazionale per l'Avifauna ed è oggi sede di una riserva naturale e oasi WWF (istituita nel 1972) nonché di due riserve naturali statali.

L'evoluzione naturale della laguna, come quella dei laghi e degli stagni, è in genere diretta verso l'eutrofizzazione, l'impaludamento e il prosciugamento. Ma già dal tempo degli Etruschi tale evoluzione è stata "controllata" dall'uomo a scopo di pesca e di itticoltura (peschiere etrusche); ciò ha impedito il prosciugamento, ma non sempre l'eutrofizzazione. In proposito possiamo ricordare che nella seconda metà del Cinquecento il livello delle acque era tale da consentire agli Spagnoli di usare la laguna come "via" per il trasporto delle pietre per la costruzione delle mura di Orbetello; successivamente lo specchio d'acqua è stato soggetto ad alterne vicende che hanno visto fenomeni di eutrofizzazione, acque limpide e produttive e anche di parziale prosciugamento. Da quanto riportato nelle cronache del Comune di Orbetello si può evincere che episodi di eutrofizzazione, verificatisi fin dal 1723, si sono ripetuti frequentemente nel XIX secolo a causa della riduzione delle "bocche" dei canali – e quindi degli scambi con il mare – voluta dall'uomo per la pesca delle anguille. Fu solo con l'allargamento di dette bocche, operato nel 1884 da Beccarini per scopi idraulici e igienici, che tutta la situazione lagunare migliorò per diversi anni, pur con alcuni episodi di



1. La Laguna di Orbetello

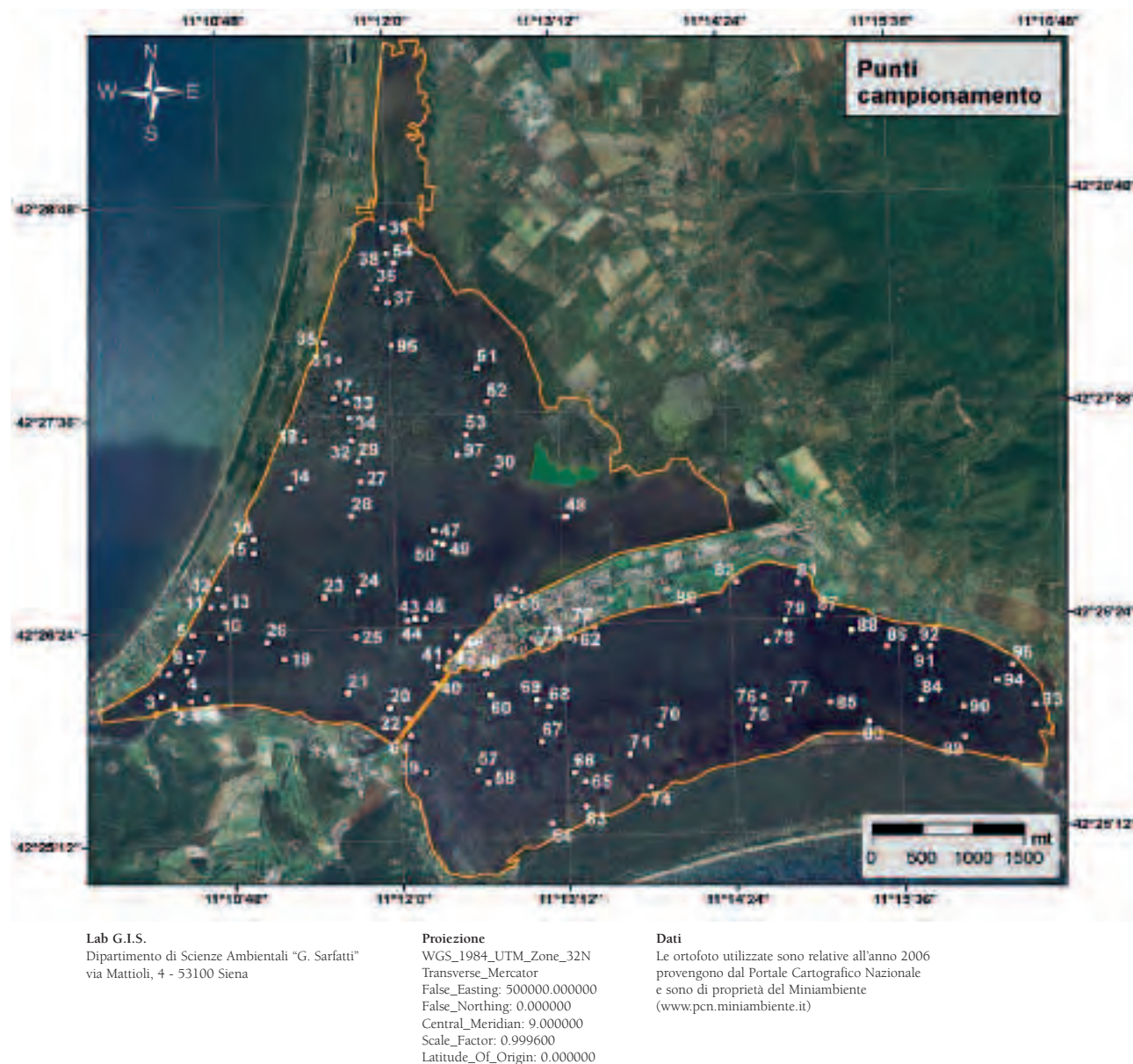
eutrofizzazione. Tra il 1930 e il 1950 le acque si mantennero per lo più produttive e limpide; solo con il boom economico, demografico e turistico del dopoguerra la loro qualità tornò a degradarsi a causa dell'aumento degli scarichi urbani, industriali, agrari e dell'itticoltura. La rete trofica lagunare non è più riuscita a smaltire questi scarichi, cosicché l'aumento della concentrazione dei nutrienti e della sostanza organica nei sedimenti e nell'acqua si è ulteriormente sommata di anno in anno.

Alle problematiche relative all'eutrofizzazione delle acque oggi si associano anche quelle della contaminazione chimica legata a pregresse attività industriali e produttive. Tutto questo ha giustificato l'iscrizione della parte orientale della Laguna di Ponente tra i Siti di Bonifica di Interesse Nazionale (SIN) di Orbetello - Area ex Sitoco: sito perimetrato ai sensi dell'articolo 1, comma 4 della legge 9 dicembre 1998 n. 426 con decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 2 dicembre 2002, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 72 del 27 marzo 2003 e attualmente esteso a tutta la superficie lagunare.

Le scarse comunicazioni della laguna con il mare e la debole profondità nonché le notevoli escursioni termiche e saline hanno aggravato la situazione. Soprattutto dal 1975 a oggi, tali fattori hanno determinato un'ipertrofia cronica, spesso sfociata in crisi di eutrofizzazione con estese morie dell'ittiofauna (Lenzi *et al.* 2003), che nel tempo ha prodotto cambiamenti qualitativi e quantitativi dell'assetto delle popolazioni vegetali e animali, con forte riduzione della biodiversità bentonica.

Ricerche sull'argomento hanno mostrato che il processo di recupero delle comunità è lento, probabilmente a causa di un continuo rilascio dei nutrienti accumulatisi nei sedimenti. Lo studio della biodiversità e della struttura comunitaria del benthos dei fondi molli, con riferimento ai parametri chimico-fisici e al contenuto in macronutrienti del sedimento, ha mostrato che i valori dei principali indici di biodiversità erano nel 2004 ancora compresi negli intervalli registrati poco dopo le crisi distrofiche. Il gradiente mare-laguna – ossia la variazione di fattori quali la temperatura dell'acqua, la salinità, la torbidità, l'ossigeno disciolto e la granulometria del sedimento lungo la direttrice spaziale che va dalla zona più vicina al mare a quella interna della laguna – non era più il principale fattore strutturante delle cenosi bentoniche, come succedeva prima delle crisi degli anni novanta. Le cenosi hanno mostrato a piccola scala un'elevata variabilità e a scale maggiori variabilità fluttuanti a seconda del contenuto organico dei sedimenti. Infine, i popolamenti del bacino di ponente della Laguna di Orbetello sono risultati più eterogenei di quelli del bacino di levante e hanno risentito maggiormente dell'impatto dovuto all'arricchimento in materia organica dei sedimenti (Tancredi *et al.* 2004).

Per quanto riguarda gli insediamenti macrofitici, variazioni nell'assetto delle dominanze tra fanerogame e macroalghe sono documentate, a partire dalla metà degli anni sessanta, da una progressiva riduzione delle macrofite a favore delle macroalghe opportuniste (Lenzi 1992; Lenzi *et al.* 2003; Gennaro *et al.* 2006). Le grandi quantità di biomasse algali prodotte in questo siste-



2. Stazioni di campionamento delle acque nella laguna

ma hanno portato ad accumuli con densità superiori ai 20 kg/m² che hanno determinato in passato degenerazioni rapide e sviluppo di condizioni anossiche con lo sviluppo di frequenti crisi distrofiche e con ripercussioni sulla qualità e quantità di prodotto ittico pescato annualmente. Infatti, per quanto riguarda le popolazioni ittiche d'interesse commerciale, a partire dagli anni ottanta si è registrato un notevole aumento di cefali e una sensibile riduzione di anguille. In seguito, con l'instaurarsi di persistenti condizioni d'ipertrofia, la produzione ittica ha subito una brusca riduzione. Per fronteggiare il ripetersi di episodi critici, la Laguna di Orbetello è stata dichiarata "area ad elevato rischio di crisi ambientale" (delibera del Consiglio dei Ministri del 2 aprile 1993), con conseguente nomina di un Commissario Delegato al Risanamento. Gli interventi dei vari Commissari, che si sono succeduti dal 1994

fino a oggi, si sono rivolti soprattutto ad assicurare il rinnovo delle acque sia in corrispondenza delle foci (tramite l'immissione forzata di acqua marina mediante idrovore), sia all'interno della laguna (tramite la ripulitura e l'approfondimento dei canali, la rimozione dei reflui a effetto eutrofizzante e la raccolta stagionale delle macroalghe).

Riguardo alla raccolta delle macroalghe, questa viene effettuata ogni anno, da giugno a novembre, da quattro battelli in grado di portare a terra circa 40 tonnellate di biomassa al giorno. La biomassa totale annua, composta per il 60% dalla rodoficea *Gracilaria longissima* e per il 40% dall'ulvoficea *Chaetomorpha linum* (Lenzi, comunicazione personale) e stimata in 5000 tonnellate al peso "fresco" (cioè con circa 85% di umidità), viene trasportata (al costo annuale di circa 600.000 euro; Lenzi, comunicazione

personale) in un sito temporaneo di smaltimento. In passato sono stati effettuati tentativi di utilizzo di tale risorsa per la produzione di agar e di carta; ben presto, però, questi tentativi sono stati abbandonati per la bassa qualità dei prodotti finali.

Nel periodo estivo, per evitare fenomeni anossici legati a difetto di circolazione dell'acqua, questa viene pompata attraverso i canali di Nassa e Fibbia nella Laguna di Ponente e fatta passare con flusso forzato nel bacino di levante e nel canale di Ansedonia.

Materiali e metodi

CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE

Le stazioni di prelievo, georeferite mediante GPS da campo, sono state ubicate in maniera da coprire sia pure non uniformemente l'intera superficie lagunare. È stato predisposto un reticolo di maglie quadrate con lato di 500 metri e in ogni quadrato, a metà dei mesi di aprile, luglio e novembre dello scorso anno, sono stati effettuati tre prelievi casuali (fig. 2). Durante il campionamento, pH, conducibilità e ossigeno disciolto (DO) sono stati misurati per mezzo di una sonda multiparametrica (Quanta Idrolab) precedentemente calibrata in laboratorio. I campioni d'acqua per le analisi chimiche (250 ml per quella dei nutrienti, cioè l'azoto e il fosforo, e 1500 ml per quella della clorofilla *a*) sono stati raccolti con bottiglie di polietilene precedentemente lavate con acido nitrico e sciacquate con acqua deionizzata. Prima di usarle per il prelievo definitivo, per tre volte le bottiglie sono state avviniate, cioè sciacquate con una piccola quantità dello stesso liquido oggetto del campionamento. Successivamente i campioni, conservati al buio, sono stati trasportati in laboratorio e qui trattati nel modo seguente:

- per la preparazione all'analisi spettrofotometrica della clorofilla *a* (chl *a*), dai 300 ai 1500 ml dell'acqua dei campioni (a seconda della torbidità) sono stati passati attraverso filtri Whatman GF/F (in lana di vetro con maglie di 45 µm), e i filtri con il particellato conservati a -20 °C;
- per la preparazione all'analisi dei nutrienti (N e P), i 250 ml di acqua campionata (sempre conservati a -20°C) non sono stati filtrati per la determinazione dei nutrienti totali (TN e TP), mentre sono stati filtrati a 0,45 µm per la determinazione di quelli disciolti (DN e DP).

ANALISI

Le concentrazioni di azoto e fosforo totali e disciolti sono state determinate, secondo le procedure descritte da Tartari & Mosello (1997), con uno spettrofotometro UV/VIS (Lambda 25, Perkin-Elmer). In particolare, i composti organici contenenti azoto e fosforo sono stati ossidati a nitrati e ortofosfati (l'ossidazione disgrega i composti organici suscettibili di falsare la

determinazione) tramite una miscela di persolfato di potassio, acido bórico e idrossido di sodio; l'ossidazione è simultanea grazie alla variazione del pH da 9,7 a 5, ottenuta dal sistema acido bórico + idrossido di sodio. TN viene determinato per lettura diretta del nitrato alla lunghezza d'onda di 220 nm (1 nanometro corrisponde a 1 milionesimo di mm). TP viene invece determinato dalla reazione dell'ortofosfato con il molibdato di ammonio e il tartrato di potassio e antimonio, che porta alla formazione di un complesso antimonio-fosfomolibdico, a sua volta ridotto dall'acido L-ascorbico al complesso blu di molibdeno che presenta il massimo di assorbanza a 882 nm. Prima di ogni sessione di analisi, è stata eseguita una calibrazione dello strumento mediante l'iniezione di soluzioni standard a concentrazioni note e crescenti. Per verificare l'accuratezza delle procedure analitiche, sono state utilizzate soluzioni a concentrazioni controllate con programmi di intercalibrazione e materiali certificati. Inoltre, l'assenza di contaminazione è stata verificata iniettando periodicamente acqua bidistillata usata per le diluizioni dei campioni.

Anche la clorofilla *a* è stata determinata per via spettrofotometrica, seguendo il metodo APHA (1998) che è basato sulla proprietà della clorofilla di assorbire la luce nella zona del rosso dello spettro visibile. Dal campione concentrato su filtro la clorofilla è estratta in acetone al 90% e la concentrazione determinata tramite lettura dell'assorbanza.

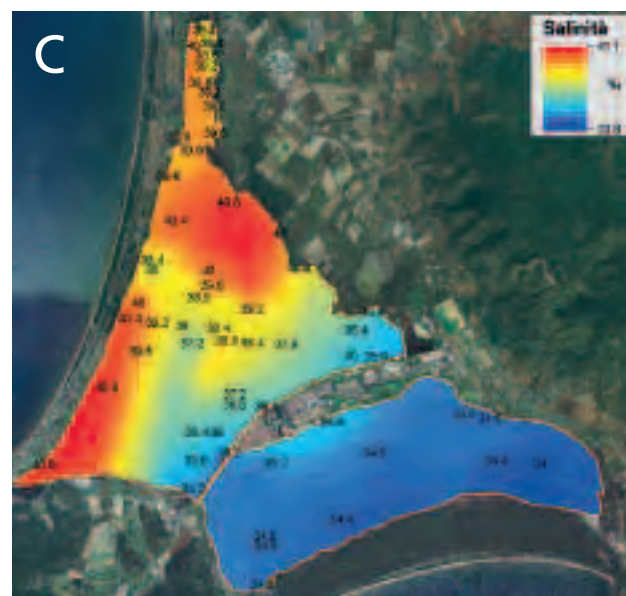
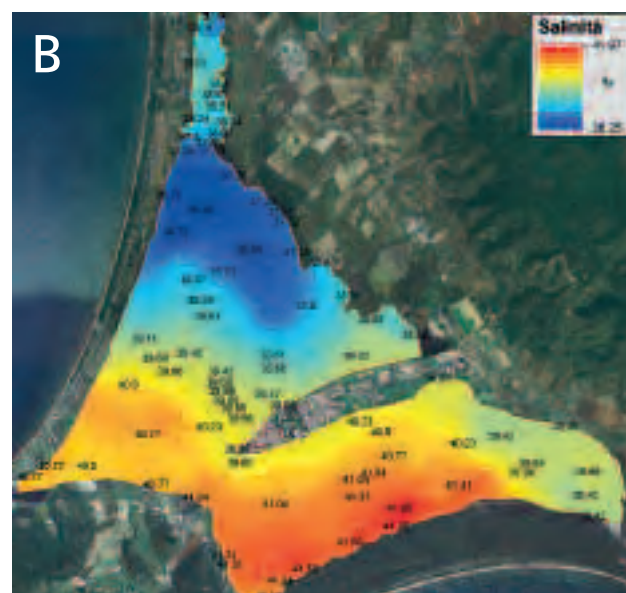
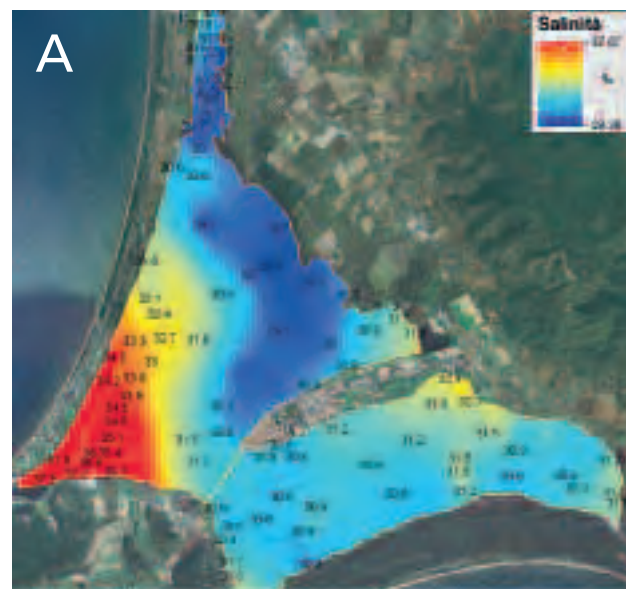
CALCOLO DELLE SUPERFICI DI DISTRIBUZIONE

Per le mappe di distribuzione degli elementi è stato utilizzato il programma GIS ArcMap (ESRI). In base alle concentrazioni rilevate, i dati di ciascuna stazione di prelievo sono stati convertiti in formato vettoriale puntiforme, trasformato in un file raster e interpolato con l'estensione GIS Geostatistical Analyst. Con l'interpolazione è stata stimata una superficie di valori predetti anche per i punti non campionati a partire dai valori conosciuti dei punti campionati circostanti.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Nella tabella 1 sono riportate le concentrazioni medie con le rispettive deviazioni standard (ds) dei nutrienti e della clorofilla *a*, nonché i valori dei parametri registrati dalla sonda multiparametrica, relativi ai campioni prelevati nel 2010. I dati sono in buona sintonia con quelli forniti nell'ultimo decennio da Lenzi *et al.* (2003), Specchiulli *et al.* (2008) e Giusti *et al.* (2010).

Durante lo scorso anno, la salinità della laguna ha oscillato tra un minimo di circa 29 e un massimo di circa 42‰, con una media del 36‰ che è superiore a quella del mare aperto prospiciente. In particolare, si è rilevato che in primavera il suo valore era inferiore a quello medio del Mar Mediterraneo, probabilmente per effetto delle precipitazioni invernali; in estate era invece più alto a causa della scarsità delle precipitazioni e



3. Distribuzione della salinità nelle acque della Laguna di Orbetello in primavera (A), estate (B) e autunno (C)

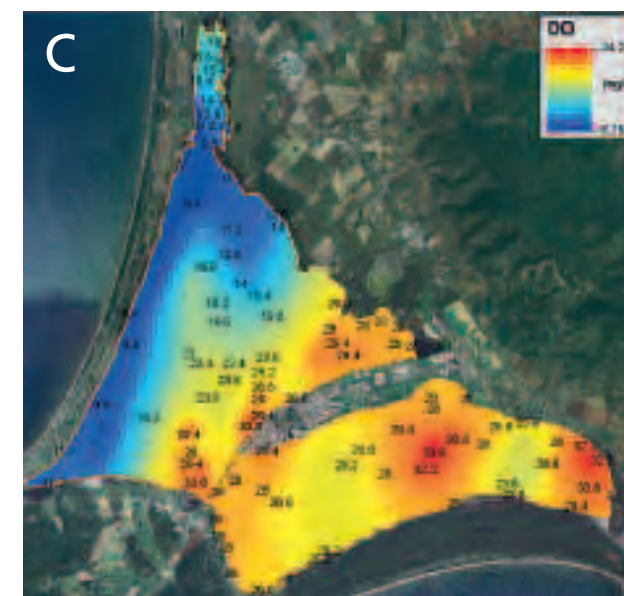
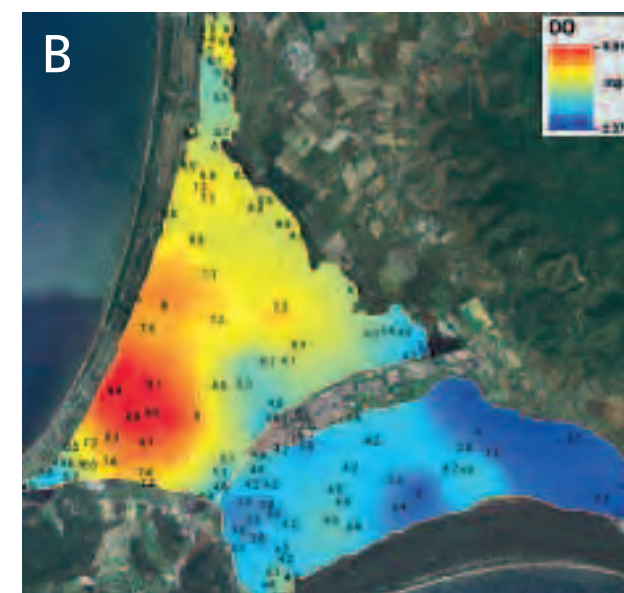
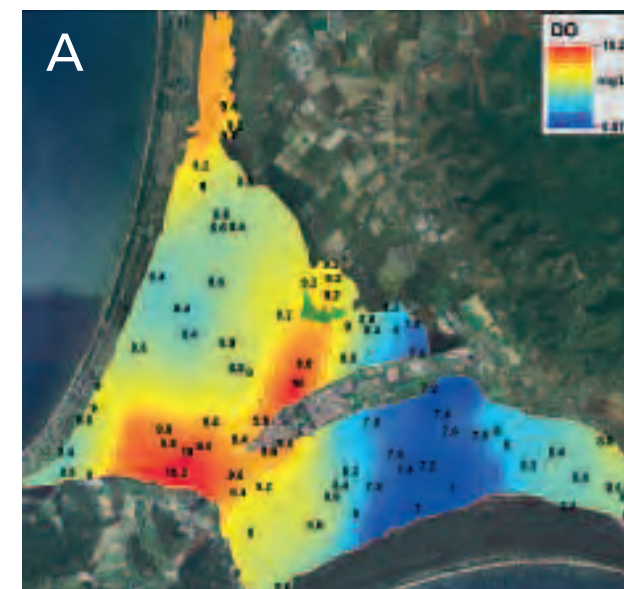
dell'elevato grado di evaporazione; in autunno era pressoché corrispondente (fig. 3).

La conducibilità ha mostrato un *trend* analogo a quello della salinità. I valori della temperatura, compresi tra un minimo di circa 5 e un massimo di circa 30°C, sono risultati confrontabili con quelli tipici di ecosistemi costieri di bassofondo (come ad esempio quello dello Stagnone di Marsala: Sarà *et al.* 1995; Pusceddu *et al.* 1997), in quanto la temperatura dell'acqua raggiunge valori più elevati in estate e più bassi in inverno rispetto a quelli del mare aperto appunto a causa dei bassi fondali.

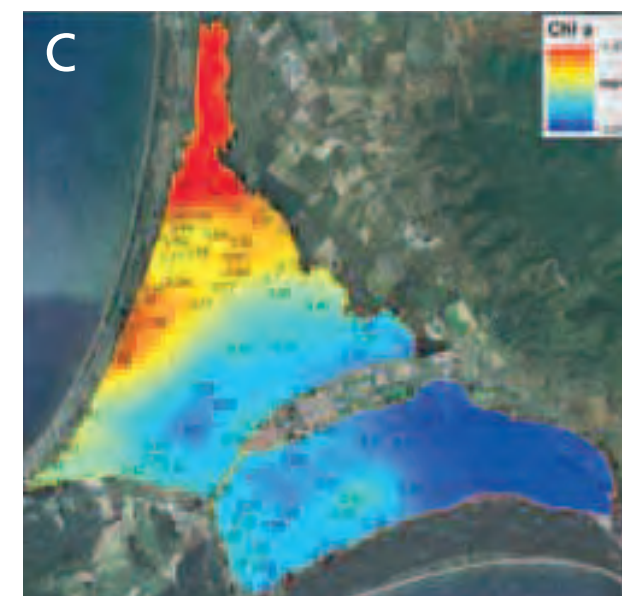
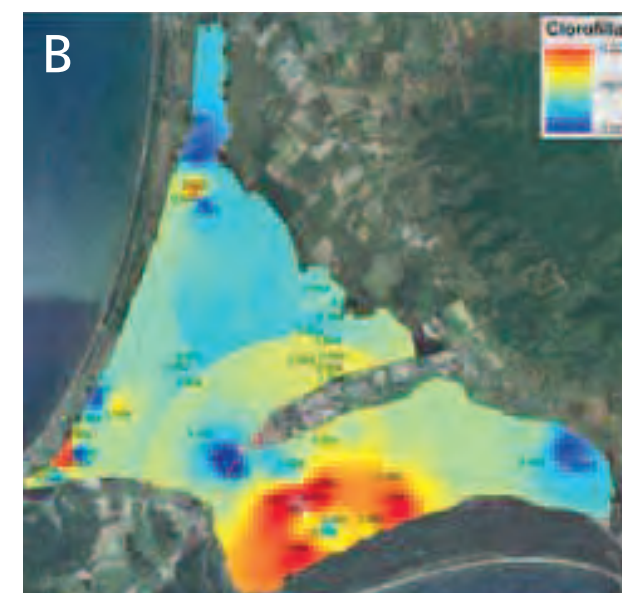
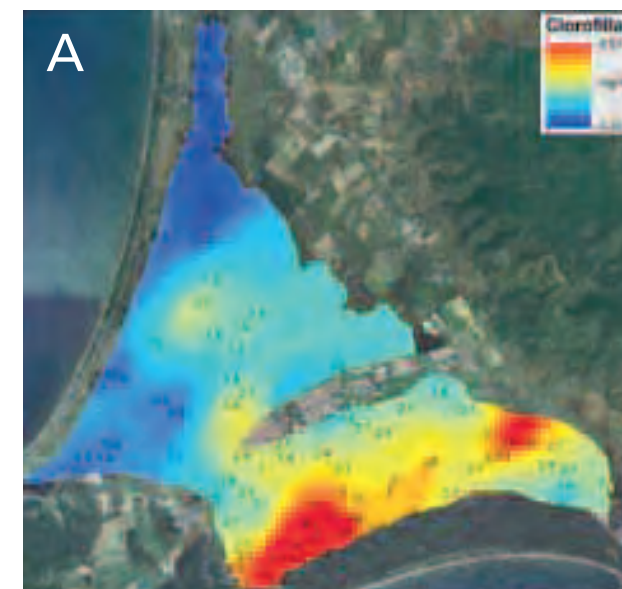
Le concentrazioni di ossigeno disciolto OD (fig. 4) hanno raggiunto il loro massimo in autunno, allorché a una temperatura più moderata si è aggiunto il fatto di avere avuto giorni di campionamento particolarmente ventosi. I livelli di OD sono invece risultati minimi in estate, quando probabilmente è massimo il tasso di decomposizione algale; in particolare, le concentrazioni nella Laguna di Levante sono inferiori a 5 mg/L, vicino al limite (3 mg/L, misurato in alcune stazioni) sotto il quale molti organismi non possono sopravvivere, nonostante la circolazione forzata delle acque. Condizioni ottimali sono quelle con valori prossimi al 100% di saturazione, quando la massa d'acqua è in equilibrio con l'atmosfera o leggermente soprasatura. Valori inferiori al 100% indicano condizioni di sempre peggiore qualità ambientale; condizioni di criticità, comunque, si verificano anche con valori molto superiori al 100%. Quando nel sistema si accumulano elevate quantità di sostanza organica derivante da processi di produzione primaria, è prevedibile una successiva ed elevata richiesta di ossigeno per la degradazione della medesima: richiesta sicuramente superiore a quella disponibile nella massa d'acqua in quanto, durante la fase di soprasaturazione, un'elevata quantità di ossigeno viene rilasciata nell'atmosfera. Condizioni di elevata soprasaturazione (maggiore del 150%), come quelle rilevate specialmente in autunno nella Laguna di Levante, sono quindi indicative di probabili condizioni di anossia nei mesi successivi. Anche all'interno del citato Stagnone di Marsala l'ossigeno disciolto presenta concentrazioni medie annue di circa 8 mg/L, con valori massimi in primavera e in autunno in concomitanza dei periodi di maggiore produzione primaria (Mazzola, Vizzini 2005).

I valori del pH, decisamente rivolti all'alcalinità, si allineano a quelli precedentemente ottenuti per la laguna da Specchiulli *et al.* (2008) e sono da associare all'alta produttività primaria, sia bentonica che planctonica.

La quantità di clorofilla *a* è legata, com'è noto, a quella del fitoplancton; elevate concentrazioni di questa molecola, comunque, pur indicando la presenza di una fioritura di tale plancton, non ne forniscono una misura diretta della biomassa. Le concentrazioni di clorofilla *a* rilevate nella laguna (fig. 5) concordano



4. Distribuzione dell'ossigeno disciolto (OD) nelle acque della Laguna di Orbetello in primavera (A), estate (B) e autunno (C)



5. Distribuzione della clorofilla *a* nelle acque della Laguna di Orbetello in primavera (A), estate (B) e autunno (C)

Tabella 1. Medie e deviazioni standard dei valori di pH, conducibilità (Cond, in mS/cm), temperatura (T), ossigeno disciolto (OD, in mg/L), clorofilla a (chl a in mg/m³) e nutrienti (azoto e fosforo totale, TN e TP) in mg/L

	pH	Cond	T	OD	Salinità	Chl a	TN	TP
primavera	8,2±0,13	48,9±2,81	17,8±0,76	8,7±1,08	31,8±2,04	2,0±2,08	5,9±2,19	0,02±0,01
estate	8,3±0,43	59,0±2,16	29,4±0,82	6,07±4,41	39,8±1,41	0,006±0,009	1,6±0,43	0,02±0,01
autunno	9,2±0,21	58,0±3,21	8,9±4,15	21,1±12,7	37,5±2,59	0,49±0,50	1,4±0,29	0,02±0,01

sostanzialmente con quelle riportate da Nuccio *et al.* (2003). Questi autori hanno riscontrato un’ampia variabilità annuale di clorofilla e feopigmenti (da 0,5 a 66 mg/m³ e hanno rilevato concentrazioni di questi composti sempre leggermente più alte nella Laguna di Levante che in quella di Ponente. Le fioriture fitoplanctoniche sono indice di elevata trofia. Valori di alta qualità ambientale sono stati attribuiti a concentrazioni di clorofilla inferiori a 6 mg/m³, quali quelle da noi riscontrate.

Per valutare le condizioni trofiche e la qualità delle acque degli ecosistemi costieri, sono stati proposti diversi criteri di classificazione e sviluppati vari indici basati su fattori ambientali (Carlson 1977; Coelho *et al.* 2007). L’indice di Carlson (TSI) è stato calcolato usando le concentrazioni di chl *a* e di TP secondo le equazioni:

$$\text{TSI (chl } a) = 9,81 \ln (\text{chl } a) + 30,6$$
$$\text{TSI (TP)} = 14,42 \ln (\text{TP}) + 4,15$$

Data la profondità esigua della laguna e la massiccia presenza di macroalghe che impediva una stima corretta della trasparenza delle acque, non è stato invece calcolato il TSI basato sull'utilizzo del disco Secchi. Così la laguna in base al TSI della clorofilla *a* (32 in primavera e 21 in autunno) è risultata oligotrofica, mentre in base al TSI del P (sempre maggiore di 44) è risultata eutrofica.

Per una corretta valutazione ambientale occorre considerare anche l’entità della copertura macroalgale. Le macroalghe, infatti, sono indice di un elevato stato trofico delle acque e competono efficacemente con il fitoplancton per i nutrienti e la luce. Questo parametro va associato alla misura della chl *a* fitoplanctonica, in quanto basse concentrazioni di tale molecola in ambienti eutrofici possono essere dovute a fioriture macroalgali. Condizioni di elevata qualità ambientale sono indicate da bassa concentrazione di clorofilla *a* e bassa copertura di macroalghe. Durante tutti i nostri campionamenti, la copertura macroalgale è risultata molto consistente.

Un’ulteriore ottima indicazione della qualità ambientale di una laguna è fornita dalla quantità di piante radicate in essa presenti. Trattandosi di organi-

smi generalmente molto evoluti (fanerogame), a vita pluriennale e dai modesti tassi di crescita, queste piante necessitano infatti di elevate condizioni di trasparenza delle acque e utilizzano principalmente i nutrienti del sedimento, risultando più competitive in condizioni di bassa trofia della laguna. Le stesse, inoltre, sono in grado di accumulare sostanza organica rimasta sepolta nel sedimento, che altrimenti rappresenterebbe un deposito di carbonio e di nutrienti refrattario al sistema. Per non considerare zone fisicamente inadatte alla crescita di questi vegetali, la percentuale di copertura di piante radicate è stata valutata unicamente nei punti della laguna aventi una profondità non superiore a due metri. Fanerogame del genere *Ruppia* sono state censite sia nella Laguna di Ponente che in quella di Levante, prevalentemente in corrispondenza dei tomboli della Giannella e della Feniglia. Senza considerare quelle zone che, per motivi fisici o altro, non possono essere colonizzate da piante radicate neanche in condizioni di elevata qualità ambientale, valori elevati di quest’ultima sono stati attribuiti alle aree con copertura di tali piante superiore all’80%, mentre la scarsità o assenza delle medesime è stata considerata come fortemente indicativa di bassa qualità ambientale. Nell’ultimo ventennio comunque è stato registrato un aumento delle fanerogame nella laguna, il che denoterebbe un leggero ma comunque sempre temporaneo miglioramento della qualità ambientale (Lenzi *et al.* 2003; Giusti *et al.* 2010).

Studi precedenti (Innamorati, Melillo 2004) hanno dimostrato che i nutrienti presenti nelle acque della laguna provengono principalmente dai sedimenti, ossia sono per la massima parte di origine autoctona e solo in minima parte (perciò trascurabile ai fini della valutazione dell'eutrofizzazione) possono risultare da scarichi alloctoni legati all'antropizzazione. I nutrienti derivano dalla mineralizzazione della sostanza organica contenuta nel sedimento, la quale viene incrementata dalla degradazione della biomassa algale che ogni anno, alla fine del periodo vegetativo, si deposita sul fondo. I processi di mineralizzazione, d'altra parte, sono fortemente legati ai ritmi stagionali, con l'intervento di gruppi batterici specifici nei differenti periodi dell'anno. Durante l'estate, ad esempio, in condizioni di alte temperature e di scarsa quantità di ossigeno, i batteri deter-

minano la liberazione di fosfato dal sedimento, mentre durante l’inverno portano al rilascio di composti azotati (Golterman 2004).

In conclusione, malgrado la presenza di piante fanerogame, fattasi più consistente negli ultimi anni, sembri rappresentare un segnale di miglioramento delle condi-

Testi citati

APHA, AWWA, WEF (1998) - *Standard methods for the examination of water and wastewater*, XX Ed., APHA, Washington.

Carlson R.E. (1977) - *A trophic state index for lakes*. Limnol. Oceanogr., 22: 361-369.

Coelho S., Gamito S. & Perez-Ruzafa A. (2007) - *Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Alarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community*. Estuar. Coast. Shelf Sci., 71: 218–31.

Gennaro P., Guidotti M., Funari E., Porrello S. & Lenzi M. (2006) - *Reduction of land based fish-farming impact by phytotreatment pond system in a marginal lagoon area*. Aquaculture, 256: 246-254.

Giusti E., Marsili-Libelli S., Renzi M. & Focardi S. (2010) - *Assessment of spatial distribution of submerged vegetation in the Orbetello lagoon by means of a mathematical model*. Ecol. Mod., 22: 1484-1493.

Golterman H.L. (2004) - *The chemistry of phosfate and nitrogen compounds in sediments*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Innamorati M. & Melillo C. (2004) - *Studio della Laguna di Orbetello. Ecologia e aspetti economici*. Relazione tecnica, 1-199.

Lenzi M. (1992) - *Experiences for the management of Orbetello lagoon: eutrophication and fishing*. Sci. Tot. Environ., 5: 1189-1198.

Lenzi M., Palmieri R. & Porrello S. (2003) - *Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management*. Mar. Poll. Bull., 46: 1540-1548.

zioni ambientali della Laguna di Orbetello, soprattutto l’anomalia di ossigeno riscontrabile nelle sue acque riflette un consumo microbico e una produzione fotosintetica nettamente al di sopra della normalità, testimoniando perciò un ecosistema in indubbio stato di squilibrio.

Mazzola A. & Vizzini S. (2005) - *Caratteristiche ecologiche, fattori di pressione antropica e sviluppo sostenibile di un ambiente costiero mediterraneo (Stagnone di Marsala, Sicilia Occidentale)*. Nat. Siciliano, IV, 29 (1-2): 37-65.

Nuccio C., Melillo C., Massi L. & Innamorati M. (2003) - *Phytoplankton abundance, community structure and diversity in the eutrophicated Orbello lagoon (Tuscany) from 1995 to 2001*. Oceanol. Acta, 26: 15-25.

Pusceddu A., Sarà G., Mazzola A. & Fabiano M. (1997) - *Relationship between suspended and sediment organic matter in a semi-enclosed marine system: the Stagnone di Marsala sound (Western Sicily)*. Water Air Soil Poll., 99: 343-352.

Sarà G., Pusceddu A., Mazzola A. & Fabiano M. (1995) - *Variazioni nictemerali della composizione biochimica del materiale organico particellato nello Stagnone di Marsala (Sicilia occidentale): osservazioni preliminari*. Biol. Mar. Medit., 2 (2): 127-129.

Tancredi C., De Stefano W., Franchi E., Volterrani M., Renzi M. & Focardi S. (2004) - *Biodiversità e struttura di comunità del benthos dei fondi molli della Laguna di Orbetello in relazione all'immissione antropica di nutrienti: dati preliminari*. Ecologia. Atti del XIV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia.

Tartari, G.A. & Mosello R. (1997). *Metodologie analitiche e controlli di qualità nel laboratorio chimico dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*. Consiglio Nazionale della Ricerca (ed.), Documenta dell'Istituto Italiano di Idrobiologia 60, Pallanza, Italy: 65-74.

Il degassamento naturale di CO₂ in Italia

Maria Luce Frezzotti

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina 8 - 53100 Siena.
marialuce.frezzotti@unisi.it

Introduzione

La concentrazione di CO₂ nella colonna atmosferica è stata ampiamente misurata con varie metodologie nelle aree più popolate del mondo. Tutti i risultati concordano nel mostrare un aumento della concentrazione media di CO₂ nel corso degli ultimi 250 anni, da una media di 275-285 ppm a 379 ppm nel 2005. Una tendenza simile si osserva anche per la temperatura media globale della Terra, che è aumentata di circa 0,8°C negli ultimi 150 anni. La ragione primaria dell'aumento del contenuto atmosferico di anidride carbonica deriva dall'uso di combustibili fossili, mentre le emissioni naturali di CO₂ dalla Terra sono ritenute trascurabili rispetto a quelle di origine antropica (IPCC 2007).

Tuttavia, i vulcani e più in generale il degassamento naturale della Terra potrebbero avere un impatto rilevante sul clima globale. In ere geologiche recenti sono stati registrati periodi di cambiamenti climatici estremi, corrispondenti ad aumenti drammatici della concentrazione di CO₂ in atmosfera, fino a 900-1.000 ppm (IPCC 2007), quando l'influenza antropica era trascurabile. Tuttavia, gli studi paleoclimatici hanno dimostrato che la scala temporale di questi fenomeni, anche se geologicamente rapida, è dell'ordine di milioni di anni, mentre non è stata mai riportata alcuna evidenza di cambiamenti climatici dovuti alle emissioni naturali di CO₂ in tempi geologicamente brevi (circa 200-500 anni).

Uno dei problemi principali nella valutazione del degassamento naturale attuale di CO₂ dalla Terra è la mancanza di osservazioni sistematiche e omogeneamente distribuite, che di fatto impediscono una quantificazione precisa delle sorgenti di emissione naturale. Il vulcanismo attuale comprende 300-600 vulcani attivi sub-aerei distribuiti nelle zone attive della tettonica a zolle (fig. 1). I vulcani emettono gas (ad esempio H₂O, CO₂, SO₂, HCl, HF e H₂S) e aerosol in atmosfera, sia durante le fasi eruttive (degassamento attivo) sia negli stadi di stasi tra le eruzioni (degassamento passivo). Al fine di mitigare il rischio vulcanico, i vulcanologi da anni sono interessati a misurare la composizione chimica e isotopica, e il flusso del degassamento attivo e passivo dai vulcani attivi, contribuendo a migliorare le stime sulla quantità di CO₂ naturale che entrano in atmosfera e negli oceani. Anche se gli effetti principali in atmosfera a breve termine sono indotti dal rilascio di

gas durante le eruzioni vulcaniche, i vulcanologi hanno stimato che il degassamento passivo dal cratere e/o dai fianchi dei vulcani quiescenti rappresenta la sorgente naturale di CO₂ più importante nella troposfera.

La tabella 1 riporta l'evoluzione delle misure delle emissioni vulcaniche e non vulcaniche dal 1970 a scala globale. È interessante notare che le prime estrapolazioni di flussi di CO₂ riportate in letteratura sono sbilanciate verso pochi (10-20) vulcani facilmente accessibili e/o che avevano eruttato di recente (ad esempio Etna, Kilauea, Vesuvio). Più recenti valutazioni, aggiornate successivamente all'individuazione di nuove fonti di emissione naturale non vulcanica (per esempio le catene orogeniche) e di ulteriori misurazioni delle sorgenti vulcaniche, hanno portato alcuni autori (ad esempio Mörner, Etiope 2002) ad aumentare la stima delle emissioni naturali di CO₂ naturale di un ordine di grandezza (come riportato in tab. 1). Nonostante questo, tutti i risultati concordano nel mostrare un contributo molto piccolo delle emissioni naturali alla concentrazione globale di CO₂ atmosferica, rispetto alle emissioni di origine antropica, e di conseguenza un effetto trascurabile sui cambiamenti climatici globali.

Tuttavia, l'equilibrio tra agenti atmosferici, subduzione e vulcanismo controlla la concentrazione atmosferica di anidride carbonica naturale sul nostro pianeta. La comprensione del ciclo profondo del carbonio è quindi la base fondamentale per la stima e alla modellazione di degassamento terrestre annuale, il riciclo del carbonio e l'equilibrio tra i serbatoi di carbonio terrestri e oceanici, indipendentemente dalla scala temporale dei processi.

Il ciclo profondo del carbonio: i nuovi modelli petrologici

Per quanto riguarda gli attuali cambiamenti climatici, la scala temporale dei processi indica il ciclo biogeochimico del carbonio come deputato a svolgere un ruolo importante nel movimento di carbonio nella e dalla Terra e dagli oceani principalmente attraverso i processi di fotosintesi e respirazione (ciclo del carbonio a breve termine). A questa scala temporale il ciclo profondo del carbonio è considerato stabile ed è di solito disaccoppiato dal flusso di carbonio biologico.

Tuttavia il ciclo profondo del carbonio all'interno



1. Distribuzione schematica del vulcanismo attivo a scala globale

della terra solida rappresenta la base fondamentale per la comprensione del ciclo globale del carbonio a lungo termine (da milioni a miliardi di anni) e dell'influenza del contributo di CO₂ della terra solida all'atmosfera a questa scala temporale. Le stime globali di degassamento vulcanico dal mantello terrestre, sulla base di calcoli – che coinvolgono di la modellazione del ciclo del carbonio e il flusso della massa di materiale vulcanico proveniente dal mantello – indicano circa 100-370 Mt

CO₂/anno (cfr. tab. 1). Più difficile appare una valutazione del degassamento non vulcanico di CO₂ dalla litosfera alla scala globale. Alcune stime conservative sono dell'ordine di 100-600 Mt/anno (tab. 1).

Il mantello rappresenta la più grande riserva di carbonio terrestre (circa 80-200 x 10⁶ Gt), con quantità stimate molto più elevate dell'atmosfera (600 Gt), degli oceani (39.000 Gt) e di tutti gli altri serbatoi presenti in prossimità della superficie combinata. Quindi il punto di

Tabella 1. Degassamento di CO₂ naturale a scala globale

BIBLIOGRAFIA	CO ₂ vulcanica		TOTALE	CO ₂ non vulcanica
	Sub aerea	Subacquea		
	Mt/a	Mt/a	Mt/a	Emissione da suolo Mt/a
Estrapolazioni *				
Gerlach 1991	80	22-40	102-120	
Allard 1992	66			
Marty, Le Cloarec 1992	66-110			
Brantley, Koepnick 1995	88-132			
Kerrick 2001	88-110			
Mörner, Etiope 2002			300	> 600
Kerrick <i>et al.</i> 1995				44
Stime**				
Williams <i>et al.</i> 1992	64			
Varekamp <i>et al.</i> 1992	145	66-97		
Sano, Williams 1996	136	44-132		
Marty, Tolstikhin 1998	242	57-136	367	
Cartigny <i>et al.</i> 2008, Atlantici MOR		101		
* Misure di flusso in vulcani attivi ed estrapolazione al numero totale di vulcani				
** Calcoli basati sulla modellazione del ciclo del C e il flusso totale di magma a scala globale				



Earth's CO₂ emission in Italy, as derived from the on-line catalogue of Italian gas emissions (blue area; <http://googas.ov.ingv.it>; Chiodini and Valenza 2007), and from the distribution of the main Plio-Quaternary volcanoes (Peccerillo, 2005). Volcanic centers marked by white circle bear peridotite xenoliths. Open symbols refer to outcrops below the sea level. Active volcanoes in red.

partenza per capire il ciclo del carbonio in profondità risiede nella teoria della tettonica a zolle: per bilanciare le continue emissioni vulcaniche e non-vulcaniche di CO₂ naturale, il carbonio deve essere riciclato nel mantello. Il carbonio, infatti, viene direttamente depositato



3. Degassamento passivo di CO₂ a Stromboli

2. Distribuzione delle sorgenti di degassamento naturale di CO₂ vulcanica e non vulcanica in Italia

sul fondo dell'oceano (carbonati pelagici e carbonio organico) e i carbonati formati da alterazione di acqua di mare di basalti rappresentano un flusso annuale di CO₂ nel mantello di circa 100-150 Mt attraverso i processi di subduzione (Alt, Teagle 2003; Coltice *et al.* 2004).

Le nuove stime di degassamento naturale globale (tabella 1) hanno come punto di partenza i recenti studi di petrologia sperimentale, i quali hanno permesso una profonda rivalutazione dei meccanismi di subduzione dei carbonati e la loro successiva evoluzione alla profondità del mantello. Tali studi hanno dimostrato come la fusione in profondità della litosfera subdotta può estrarre il carbonio dalla crosta in subduzione, mentre fasi minerali quali i carbonati possono consentire il trasporto di carbonio nella litosfera in subduzione fino a profondità di 400-600 km nel mantello terrestre (Kerrick, Connolly 2001a e 2001b; Dasgupta *et al.* 2004; Thomsen, Smith 2008). Durante i processi di fusione di rocce contenenti carbonati, la liberazione di carbonio per generare fusi carbonatici è geologicamente rapida, meno di qualche milione di anni (Hammouda, Laporte 2000). Sulla base dei nuovi model-

li petrologici, una prima valutazione quantitativa dei flussi di CO₂ in profondità dal mantello superiore profondo al di sotto delle dorsali medio oceaniche (MOR) è stata presentata da Dasgupta *et al.* (2006). Questi autori hanno calcolato flussi di CO₂ dal mantello terrestre da profondità di circa 300 km nell'ordine di 120-3400 Mt/anno, compatibili, sebbene molto variabili, con le stime di emissione di CO₂ prodotta dal vulcanismo di dorsale medio oceanica (tab. 1). Tuttavia, non tutta la CO₂ emessa dal mantello profondo degassa in superficie attraverso le emissioni vulcaniche e non vulcaniche e una parte non quantificata rimane nel mantello terrestre.

Alla scala regionale, il ciclo profondo del carbonio terrestre – ossia come la decarbonatazione o fusione di litologie ricche in carbonato da una litosfera subdotta può influenzare l'efficienza del rilascio di carbonio nel sistema litosfera-astenosfera – è stato recentemente indagato nella regione occidentale del Mediterraneo da Frezzotti *et al.* (2009). Questi autori hanno presentato un modello integrato petrologico e geofisico che permette di stimare il degassamento naturale di CO₂ in Italia. Di seguito sono riportati i principali dati sulle emissioni di CO₂ terrestri in Italia e i recenti modelli petrologici che stimano l'emissione profonda di CO₂ di origine vulcanica e non, sulla base delle principali caratteristiche geofisiche e geochemiche del mantello superiore nella regione italiana.

Emissione naturale di CO₂ in Italia

In Italia il degassamento terrestre di CO₂, sia in aree di vulcanismo attivo che in aree non vulcaniche, rappresenta un fenomeno importante e diffuso principalmente osservato nella parte centrale e meridionale del paese, dove sono localizzati i vulcani Plio-Quaternari (fig. 2; tab. 2). I vulcani attivi italiani sono distribuiti lungo l'Italia peninsulare (Centro-Sud) e in Sicilia (Etna, Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia, Vulcano, Stromboli e Pantelleria; fig. 2) e rappresentano una fonte rilevante di CO₂. Inoltre, centinaia di zone di degassamento naturale di CO₂ dal suolo si trovano in Toscana, Lazio, Campania, sull'Appennino, in Sicilia e in Sardegna (fig. 2; www.googas.ingv.it).

Il degassamento totale di CO₂ naturale (vulcanica e non-vulcanica) misurato in Italia ammonta a 35-60 Mt/anno (Mörner, Etiope 2002), ovvero a circa il 7-12% delle emissioni nazionali di CO₂ di origine antropica (457 Mt CO₂ nel 2004). Pertanto, variazioni secolari del degassamento terrestre, alla scala del Quaternario, possono avere influenzato l'attuale bilancio di carbonio atmosferico naturale.

CO₂ vulcanica

Il vulcanismo attivo rappresenta un processo fondamentale attraverso il quale viene rilasciata CO₂ profonda nell'atmosfera. Sebbene emissioni di CO₂ rilevanti si

Tabella 2. Misure di degassamento naturale di CO₂ vulcanica e non vulcanica

LOCALITÀ - BIBLIOGRAFIA	CO ₂ vulcanica Mt/a	CO ₂ non vulcanica Mt/a (km²)
Italia		
Etna cratere 1976-1985 - Allard <i>et al.</i> 1991	25,5	
Etna cratere 1993-1997 - Allard 1998	4 - 13	
Etna fianchi - D'Alessandro <i>et al.</i> 1998	0,6 - 6	
Stromboli cratere - Allard <i>et al.</i> 1994	1 - 2	
Stromboli fianchi - Carapezza, Federico 2000	0,07 - 0,09	
Vulcano fumarole - Italiano <i>et al.</i> 1998	0,13	
Vulcano cratere - Baubron <i>et al.</i> 1990	0,06	
Vesuvio - Frondini <i>et al.</i> 2004	0,50	
Ischia diffuso - Pecoraiano <i>et al.</i> 2005	0,47	
Campi Flegrei, Solfatara diffuso - Chiodini <i>et al.</i> 2001	0,55	
Pantelleria diffuso - Favaro <i>et al.</i> 2001	0,39	
Ustica - Etiope <i>et al.</i> 1999		0,26 (9)
Appennino centrale - Chiodini <i>et al.</i> 2000		4 - 13,2 (12,000)
Toscana e N. Lazio - Chiodini <i>et al.</i> 2004		6
Campania - Chiodini <i>et al.</i> 2004		3
Mefite D'ansanto - Rogie <i>et al.</i> 2000		0,3
Larderello e Amiata (Toscana) - Chiodini <i>et al.</i> 2000		2,2
Mofeta dei Palici, Sicilia - De Gregorio <i>et al.</i> 2002		0,1
Bacino di Siena - Etiope 1996		0,5 (200)
Regionale		
Pinatubo 1991 eruzione (Filippine) - Gerlach <i>et al.</i> 1996	42	
Popocatepetl cratere (Messico) - Varley & Arminta 2001	21,9	
Nyiragongo cratere (Congo) - Saywer <i>et al.</i> 2008	23	
Masaya Caldera diffuso (Nicaragua) - Perez <i>et al.</i> 2000	10,5	
Kilauea cratere (Hawaii) - Gerlach <i>et al.</i> 2002	3,3	
Oldonio Lengai cratere (Tanzania) - Koepnick 1995	2,2 - 2,6	
Masaya cratere (Nicaragua) - Burton <i>et al.</i> 2000	0,8 - 1,13	
Rabaul Caldera (Papua N.G.) - Perez <i>et al.</i> 1998	0,88	
Erebus cratere (Antarctica) - Wardell & Kyle 2003	0,7	
Teide fianchi (Tenerife, Spagna) - Salazar <i>et al.</i> 1997	0,2	
Usu cratere (Giappone) - Hernandez <i>et al.</i> 2001	0,04 - 0,12	
Mount Baker cratere (Washington, USA) - Mc Gee <i>et al.</i> 2001	0,07	
Back arc Pacific Rim - Seward & Kerrick 1996		44
Nisyros suolo (Grecia) - Brombach <i>et al.</i> 2001		0,8
Faglia di St. Andreas (California, USA) - Lewicki & Brantley 2000		0,3 (60)
Mammoth Mount. (California) - Rahn <i>et al.</i> 1996		0,15 (0,4)
Himalaya (India) - Becker <i>et al.</i> 2008		39,6

verifichino durante le eruzioni vulcaniche, il degassamento diffuso non-eruttivo alla bocca o attraverso i fianchi dei vulcani attivi è stato riconosciuto come il principale meccanismo di rilascio di CO₂ vulcanica in atmosfera (fig. 3; tab. 2).

In Italia i vulcani attivi (fig. 2) sono situati nella parte meridionale del continente (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia), in Sicilia (Etna), nel canale di Sicilia (ad esempio Pantelleria) e nel Tirreno meridionale (Vulcano, Stromboli e Lipari). Le misure di degassamento di CO₂ vulcanica in Italia sono riportate nella tabella 2. Sulla base delle misurazioni dirette sui punti sorgente, il



4. Il degassamento passivo di CO₂ dai quattro crateri sommitali dell'Etna; in primo piano, da sinistra a destra, il cratere di nord-est, il cratere centrale, la bocca nuova e, più in alto nell'immagine, il cratere di sud-est



5. Le Mofete della valle D'Ansanto
C'è un luogo in mezzo all'Italia, sotto alti monti, noto e dalla fama ridotto per molte contrade, le Valli d'Ansanto: fosco di dense fronde lo domina dalle due parti un fianco boscoso, dirotto nel mezzo tuona fra rocce e torti risucchi il torrente. Qui una spelonca orrenda, spiraglio al terribile Dite, mostrano; immensa voragine, in cui l'Acheronte precipita, spalanca le fauci pestifere: qui l'Erinni calò, odioso nume e liberò terra e cielo. (Virgilio, Eneide, VII, 563-671, trad. di Rosa Calzecchi Onesti, Einaudi, Torino 1967)

bilancio medio delle emissioni di CO₂ vulcanica è conservativamente (limite inferiore) misurato in quantità di circa 30 Mt CO₂/anno. Tuttavia l'Etna contribuisce da solo per oltre il 90% delle emissioni. Poiché i flussi di CO₂ misurati all'Etna sono estremamente variabili da 13 a 43.8 Mt/anno, viene assunto il valore medio di 25 Mt/anno come significativo (Allard *et al.* 1991; Gerlach 1991). All'Etna ulteriori emissioni di CO₂ (circa 1-5 Mt/anno) si verificano dai fianchi e dall'area sommitale del vulcano. Altri vulcani attivi (Stromboli, Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia, Vulcano, Pantelleria) emettono quantità di CO₂ notevolmente inferiori, anche se piuttosto variabili (nell'ordine di 0.2-2 Mt/anno; tab. 2). L'Etna rappresenta uno dei vulcani con più forti emissioni di CO₂ a scala globale (fig. 4; tab. 2). Gerlach (1991) indica le forti emissioni di CO₂ all'Etna come una "singolarità", in quanto da sole contribuiscono a circa un terzo della CO₂ a livello globale del vulcanismo sub-aereo stimata in quegli anni (tabella 1). Recentemente l'aumento delle misure ha dimostrato la presenza di degassamento di CO₂ di altri vulcani attivi nello stesso ordine di grandezza di quello dell'Etna (tab. 2), ad esempio il Nyiragongo (Kenya) e il Popocatepetl (Messico).

Le ragioni di questo estremo arricchimento in CO₂ in alcuni magmi è oggetto di discussione tra i petrologi (Gerlach 1991; Kerrick 2001). Il contenuto di CO₂ dei

magmi, infatti, riflette la composizione del mantello di origine, ma può essere modificato durante l'ascesa e lo stazionamento dei magmi nella crosta. In Italia l'interazione tra magmi e carbonati di rocce incassanti a livello crostale (cioè nelle camere magmatiche) può notevolmente contribuire ad aumentare il *budget* della CO₂ vulcanica, come misurato ad esempio al Vesuvio e ai Colli Albani, per processi di assimilazione di carbonati nel magma (Iacono, Marziano *et al.* 2007a).

Il contributo relativo di questi processi e della provenienza diretta dal mantello alle emissioni totali di CO₂ vulcanica è molto dibattuto (Iacono, Marziano *et al.* 2007b). Tuttavia, il degassamento di CO₂ all'Etna indica soprattutto carbonio proveniente dal mantello, con un apporto subordinato CO₂ di origine crostale (Allard *et al.* 1997; Nakai *et al.* 1997). Poiché l'Etna contribuisce da solo per oltre il 90% delle emissioni complessive di CO₂ misurate nei vulcani attivi italiani, la maggior parte del bilancio di degassamento vulcanico della CO₂ in Italia rappresenta un processo profondo.

CO₂ non vulcanica

Il degassamento di CO₂ è presente nel Centro e nel Sud dell'Italia con emissioni diffuse o concentrate dal

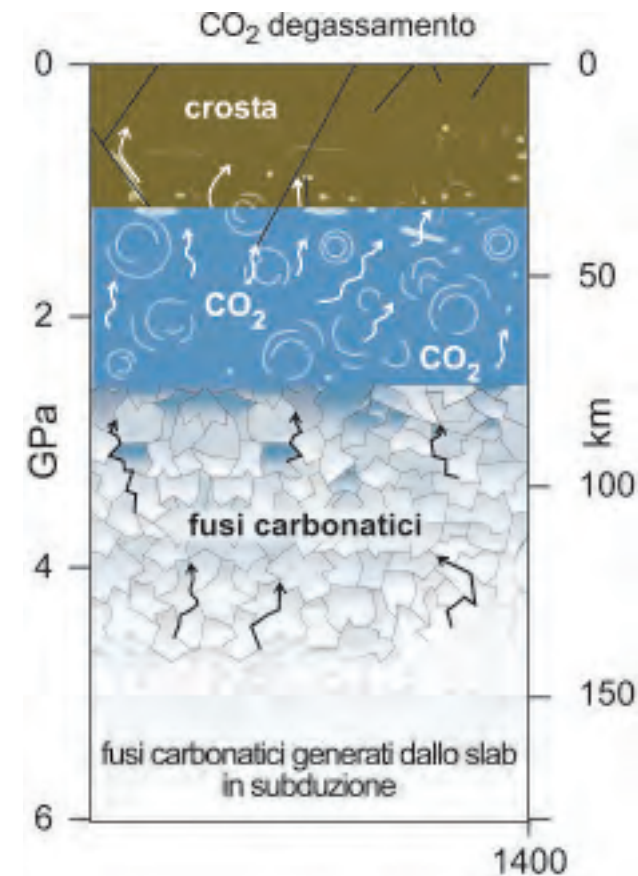
suolo in vaste aree dove il vulcanismo è assente o non è più attivo. Questo tipo di emissione naturale è indicato come emissione non vulcanica di CO₂ e comprende degassamento di rocce crostali carbonatiche, flussi dal mantello superiore e i campi geotermici (fig. 3; tab. 2; Chiodini *et al.* 1998 e 1999; Etiope 1999; Italiano *et al.* 2000; Rogie *et al.* 2000; Mörner & Etiope 2002). Secondo Mörner & Etiope (2002), i flussi di CO₂ non vulcanica in Italia sono dello stesso ordine di grandezza del degassamento vulcanico (da > 4 a 30 Mt/anno). Ad esempio, la mappatura regionale dei flussi diffusi di CO₂ da un'area di 45.000 km² nel Centro Italia, tra Toscana, Lazio settentrionale e parte centrale della catena appenninica, indica circa 9,7-17 Mt CO₂/anno.

Spesso è possibile osservare un'associazione diretta tra le emissioni di CO₂ del suolo e la presenza di faglie, spesso di origine profonda (tab. 2): nella zona assiale degli Appennini sono presenti fluissi di CO₂ variabili tra 4 e 13 Mt/anno (Chiodini *et al.* 2004). Emissioni di CO₂ pari a 0,1-0,3 Mt/anno sono state misurate dagli sfiati delle Mefite della valle d'Ansanto (fig. 5; Irpinia; porzione esterna dell'Appennino meridionale), nella zona dell'epicentro del terremoto del 1980 (Italiano *et al.* 2000; Rogie *et al.* 2000). In Sardegna il degassamento di CO₂ si verifica nella parte settentrionale del Graben del Campidano (Minissale *et al.* 1999); in Sicilia alti flussi di CO₂ sono misurati dalle mofete distribuite lungo i sistemi di faglie principali che interessano la parte orientale dell'isola (De Gregorio *et al.* 2002).

La sorgente della CO₂ non vulcanica può essere collocata nella media-bassa crosta o più in profondità nel mantello, per reazioni indotte da processi di decarbonatazione generati da un aumento delle temperature o dalla tettonica attiva. Chiodini *et al.* (2000) propone che circa il 40% del carbonio inorganico della CO₂ non vulcanica derivi da una sorgente mista crosta continentale + mantello, o da un mantello modificato da fluidi. Anche i rapporti ³He/⁴He nei gas di CO₂ non-vulcanica indicano una componente importante del mantello e, fatto interessante, sono simili ai valori misurati nelle lave dei alcuni vulcani recenti o attivi (Martelli *et al.* 2008).

Emissione naturale di CO₂ in Italia: il modello petrologico

Un modello petrologico che stima il degassamento naturale di CO₂ in Italia è stato formulato recentemente sulla base delle caratteristiche geochemiche dei magmi eruttati, delle caratteristiche fisiche del mantello e in generale della geodinamica dell'area mediterranea negli ultimi 30 Ma (Frezzotti *et al.* 2009). Il modello (riportato in fig. 6) mostra come i processi di decarbonatazione e/o di fusione di litologie ricche di carbonati in una litosfera subdotta possano incidere sull'efficacia del rilascio di carbonio nel sistema litosfera-astenosfera. I risultati



6. Modello petrologico di degassamento di CO₂ dal mantello terrestre nell'area del Mediterraneo occidentale (modificato da Frezzotti *et al.* 2009)

ottenuti indicano che la fusione di sedimenti e/o della litosfera subdotta adriatico-ionica (africana) a una pressione superiore a 4 GPa (o 120 km) può rappresentare il mezzo efficace per spiegare il ciclo profondo del carbonio nel mantello superiore verso l'esosfera nell'area del Mediterraneo occidentale. La fusione delle rocce subdotte, indotta dal progressivo aumento delle temperature nel mantello, ha portato alla generazione dei fusi ricchi in carbonato. A causa della loro bassa densità e viscosità, questi fusi sono in grado di migrare verso l'alto, formando un livello di mantello arricchito in frazione carbonatica fusa, registrato dalle immagini tomografiche tra 120 e 60 km di profondità (fig. 6). A profondità inferiori a 60-70 km i carbonati non sono più stabili, con conseguente degassamento di importanti quantità di CO₂. Da queste profondità l'ulteriore risalita della CO₂ è facilitata dalle forze di galleggiamento, probabilmente favorite da locali sovrappressioni dei fluidi, che sono in grado di consentire la migrazione di CO₂ in superficie attraverso faglie profonde nella litosfera e/o la sua accumulazione al di sotto della Moho e all'interno della crosta continentale inferiore (fig. 6).

Sulla base di questo modello recente sono state effettuate stime conservative di potenziale degassamento di CO₂ profonda nell'esosfera. I carbonati presenti nel mantello contengono circa il 45% di CO₂ in peso. Assumendo

una concentrazione media conservativa di 0,1% in peso di carbonati e come conveniente un 100% di degassamento, circa 1,35 Mt di CO₂ (pari a 0.4 Mt di carbonio) possono essere rilasciate per ogni km³ di mantello metasomatizzato. Assumendo una scala di tempo di 30 Ma, il degassamento di CO₂ dal mantello al di sotto del Mediterraneo occidentale può generare flussi di CO₂ dalla litosfera-astenosfera di circa 60 Mt/anno, equivalenti o superiori alle emissioni di CO₂ misurate in Italia dai singoli punti sorgente vulcanici e non vulcanici per anno.

Il mantello terrestre, attraverso il ciclo dei carbonati in subduzione e la fusione a profondità >120 km, come osservato nel Mediterraneo occidentale, rappresenta quindi la chiave per comprendere il ciclo globale del carbonio in profondità nella Terra. In Italia il record di lunga durata dei dati e le strategie di misurazione ben vincolate, bilanciato da una modellazione petrologica, indicano emissioni di CO₂ naturale dell'ordine del 5-8% rispetto a quelle antropiche, ben oltre la stima più alta media per il degassamento terrestre naturale.

Conclusioni

Dal 1980 un flusso continuo di nuovi dati ha mostrato un costante incremento del valore delle emissioni di origine naturale con il numero di misure, da un

totale di concentrazione atmosferica di CO₂ naturale dello 0,01% nel 1980 fino a una stima di almeno 2,2 % negli anni duemila delle emissioni di origine antropica.

Con i recenti modelli petrologici regionali, il bilancio di massa delle misurazioni sui singoli punti sorgente vulcanici e non vulcanici sembra indicare una quantità ancora maggiore di emissioni di origine naturale: fino al 5-8% in più. Per una stima delle emissioni di carbonio di origine antropica di 26,4 Gt CO₂/anno (IPCC; bilancio 2000), un bilancio di emissione naturale in un intervallo compreso tra il 5 e l'8% corrisponde a 1,31-2,11 Gt CO₂/anno. Un tale trend in costante crescita suggerisce inoltre che le emissioni naturali della Terra sono ancor oggi virtualmente non quantificate.

Anche se la stima delle emissioni vulcaniche e non vulcaniche terrestri costituisce solo una piccola percentuale del *budget* della CO₂ di origine antropica, la stima delle emissioni naturali ottenuta attraverso i nuovi modelli petrologici a scala globale e regionale appare più attendibile della semplice somma di misura dei punti sorgente. L'applicabilità generale dei nuovi modelli petrologici al contesto geodinamico della Terra ha il potenziale di evidenziare l'influenza dei processi profondi non solo per una valutazione affidabile della quantità di degassamento terrestre, ma soprattutto per la comprensione e la quantificazione dei processi di superficie a breve termine.

Testi citati e consultati

Allard P. (1992) - *Diffuse degassing of Carbon dioxide through volcanic systems: observed facts and implications*. Geological Survey of Japan, Report 279: 7-11.

Allard P., Carbonnelle J., Dajlevic D., Le Bronec J., Morel P., Robe M.C., Maurenas J.M., Faivre-Pierret R., Martin D., Sabroux J.C. & Zettwoog P. (1991) - *Eruptive and diffuse emissions of CO₂ from Mount Etna*. Nature, 351: 387-391.

Allard P., Carbonelle J., Metrich N., Loyer H. & Zettwoog P. (1994) - *Sulphur output and magma degassing budget of Stromboli volcano*. Nature, 368: 326-330.

Allard P., Jean-Baptiste P., D'Alessandro W., Parello F., Parisi B. & Flehoc C. (1997) - *Mantle-derived helium and carbon in groundwaters and gases of Mount Etna, Italy*. Earth and Planetary Science Letters, 148: 501-16.

Alt J.C. & Teagle D.A.H. (2003) - *Hydrothermal alteration of upper oceanic crust formed at a fast-spreading ridge: Mineral, chemical, and isotopic evidence from ODP Site 801*. Chemical Geology, 201: 191-211.

Baubron J.C., Allard P. & Toutain J.P. (1990) - *Diffuse volcanic emissions of carbon dioxide from Volcano Island, Italy*. Nature 344, 51-53.

Becker J.A., Bickle M.J., Galy A. & Holland T.J.-B. (2008) - *Himalayan metamorphic CO₂ fluxes: Quantitative constraints from hydrothermal springs*. Earth and Planetary Science Letters, 265: 616-629.

Brantley S.L. & Koepenick K.W. (1995) - *Measured carbon dioxide emissions from Oldoinyo Lengai and the skewed distribution of passive volcanic fluxes*. Geology, 23: 933-936.

Brombach T., Hunziker J.C., Chiodini G. & Cardellini C. (2001) - *Soil diffuse degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki Plain, Nisyros (Greece)*. Geophysical Research Letters, 28: 69-72.

Carapezza M.L. & Federico C. (2000) - *The contribution of fluid geochemistry to the volcano monitoring of Stromboli*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 95: 227-245.

Cartigny P., Pineau F., Aubaud C. & Javoy M. (2008) - *Towards a consistent mantle carbon flux estimate: insights from volatile systematics (H₂O/Ce, ‰D, CO₂/Nb) in the North Atlantic mantle (14° N and 34° N)*. Earth Planetary Science Letters, 265: 672-685.

Chiodini G., Cardellini C., Amato A., Boschi E., Caliro S., Frondini F. & Ventura G. (2004) - *Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy*. Geophysical Research Letters, 31, doi:10.1029/2004GL019480.

Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Raco B. & Marini L. (1998) - *Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas*. Applied Geochemistry, 13: 543-552.

Chiodini G. & Frondini F. (2001) - *Carbon dioxide degassing from the Albani Hills volcanic region, central Italy*. Chemical Geology, 177: 67-83.

Chiodini G., Frondini F., Cardellini C., Parello F. & Peruzzi L. (2000) - *Rate of diffuse carbon dioxide Earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of central Apennine, Italy*. Journal of Geophysical Research, 105 (B4): 8423-8434.

Chiodini G., Frondini F., Kerrick D.M., Rogie J.D., Parello F., Peruzzi L. & Zanzari A.R. (1999) - *Quantification of deep CO₂ fluxes from central Italy. Examples of carbon balance for regional aquifers and of soil diffuse degassing*. Chemical Geology, 159: 205-222.

Coltice N., Simon L. & Lécuyer C. (2004) - *Carbon isotope cycle and mantle structure*. Geophysical Research Letters, 31, doi: 10.1029/2003GL018873

D'Alessandro W., Giammanco S., Parello F. & Valenza M. (1997) - *CO₂ output and ¹³C(CO₂) from Mt Etna as indicators of degassing of shallow asthenosphere*. Bulletin Volcanology, 58: 455-458.

Dasgupta R., Hirschmann M.M. & Withers A.C. (2004) - *Deep global cycling of carbon constrained by the solidus of anhydrous, carbonated eclogite under upper mantle conditions*. Earth and Planetary Science Letters, 227: 73-85.

Dasgupta R., Hirschmann M.M. & Stalker K. (2006) - *Immiscible transition from carbonate-rich to silicate-rich melts in the 3 GPa melting interval of eclogite+CO₂ and genesis of silica-undersaturated ocean island lavas*. Journal of Petrology, 47: 647-671.

De Gregorio S., Diliberto I.S., Giammanco S., Gurrieri S. & Valenza M. (2002) - *Tectonic control over large-scale diffuse degassing in eastern Sicily (Italy)*. Geofluids, 2: 273-284.

Etiopie G. (1996) - *Migrazione e comportamento del “Geogas” in bacini argillosi*. Ph.D. Thesis Extended abstract, Plinius, 15: 90-94.

Frezzotti M.L., Peccerillo A. & Panza G.F. (2009) - *Carbonate metasomatism and CO₂ lithosphere–asthenosphere degassing beneath the Western Mediterranean: An integrated model arising from petrological and geophysical data*. Chemical Geology, 262: 108-120.

Frondini F., Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Granieri D. & Ventura G. (2004) - *Diffuse CO₂ degassing at Vesuvio, Italy*. Bulletin of Volcanology, 66: 642-651.

Gerlach T.M. (1991) – *Etna’s greenhouse pump*. Nature, 31: 352-353.

Gerlach T. M., McGee K.A., Elias T., Sutton A.J. & Doukas M.P. (2002) - *Carbon dioxide emission rate of Kilauea Volcano: Implications for primary magma and the summit reservoir*. Journal of Geophysical Research, 107(B9), 2189, doi: 10.1029/2001JB000407.

Gerlach T.M., Westrich H.R. & Symonds R.B. 1996. *Pre-eruption vapor in magma of the climactic Mount Pinatubo eruption: Source of the giant stratospheric sulfur dioxide cloud*. Newhall C.G. & Punongbayan, R.S. (eds.), *Fire and Mud: Eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. 415-434.

Hammouda T. & Laporte D. (2000) - *Ultrafast mantle impregnation by carbonatite melts*. Geology, 28: 283-285.

Iacono Marziano G., Gaillard F. & Pichavant M. (2007a) - *Limestone assimilation and the origin of CO₂ emissions at the Alban Hills (Central Italy): Constraints from experimental petrology*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 166: 91-105 .

Iacono Marziano G., Gaillard F. & Pichavant M. (2007b) - *Limestone assimilation by basaltic magmas: an experimental re-assessment and application to Italian volcanoes*. Contributions to Mineralogy and Petrology, doi 10.1007/s00410-007-0267-8.

Italiano F., Martelli M., Martinelli G. & Nuccio P.M. (2000) - *Geochemical evidence of melt intrusions along lithospheric faults of the Southern Apennines, Italy: geodynamic and seismogenic implications*. Journal of Geophysical Research, 105 (B6): 13569–13578.

Kerrick D.M. (2001) - *Present and past non-anthropogenic CO₂ degassing from the solid Earth*. Reviews in Geophysics, 39: 565-585.

Kerrick D.M. & Connolly J.A.D. (2001a) - *Metamorphic devolatilization of subducted marine sediments and the transport of volatiles into the Earth’s mantle*. Nature, 411: 293-296.

Kerrick D. M. & Connolly J.A.D. (2001b) - *Metamorphic devolatilization of subducted oceanic metabasalts: Implications for seismicity, arc magmatism and volatile recycling*. Earth Planetary Science Letters, 189: 19-29.

Kerrick D. M., McKibben M.A., Seward T.M. & Caldeira K. (1995) - *Convective hydrothermal CO₂ emission from high heat flow regions*. Chemical Geology, 121: 285-293.

Koepenick K. (1995) - *Volatile emission from Oldoinyo Lengai volcano, Tanzania*. Master Thesis, Pa State University, University Park.

Lewicki J. & Brantley S.L. (2000) - *CO₂ degassing along the San Andreas fault, Parkfield, California*. Geophysical Research Letters, 27: 5-8.

Martelli M., Nuccio P.M., Stuart F.M., Di Liberto V. & Ellam R.M. (2008) - *Constraints on mantle source and interactions from He-Sr isotope variation in Italian Plio-Quaternary volcanism*. Geochemistry Geophysics Geosystems 9, doi: 10.1029/2007GC001730.

Marty B. & Le Cloarec M. F. (1992) - *Helium-3 and CO₂ fluxes from subaerial volcanoes estimated from Polonium-210 emissions*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 53: 67-72.

Marty B. & Tolstikhin I. N. (1998) - *CO₂ fluxes from mid-ocean ridges, arcs and plumes*. Chemical Geology, 145: 233-248.

Minissale A., Magro G., Tassi F., Frau F. & Vaselli O. (1999) - *The origin of natural gas emissions from Sardinia island, Italy*. Geochemical Journal, 33: 1-12.

Mörner N.A. & Etiopie G. (2002) - *Carbon degassing from the lithosphere*. Global Planetary Change, 33: 185-203.

Nakai S., Wakita H., Nuccio P.M. & Italiano F. (1997) - *MORB-type neon in an enriched mantle beneath Etna, Sicily*. Earth Planetary Science Letters, 153: 57-66.

Perez N.M., Nakai S., Notsu K. & Talai B. (1998) - *Anomalous diffuse degassing of helium-3 and CO₂ related to the active Ring-Fault structure at Rabaul Caldera, Papua New Guinea*. EOS Trans. AGU 79 (45) Fall Meet. Suppl., F957.

Perez N.M., Salazar J.M.L., Saballos A., Álvarez J., Segura F., Hernández P.A. & Notsu K. (2000) - *Diffuse degassing of CO₂ from Masaya caldera, Central America*. Eos Trans AGU, Fall Meet Suppl., G678.

Rahn T.A., Fessenden J.E. & Wahlen M. (1996) - *Flux chamber measurements of anomalous CO₂ emission from the flanks of Mammoth Mountain, California*. Geophysical Research Letters, 23: 1861-1864.

Rogie J.D., Kerrick D.M., Chiodini G. & Frondini F. (2000) - *Flux measurements of non-volcanic CO₂ emission from some vents in central Italy*. Journal of Geophysical Research, 105 (B4): 8435-8446.

Salazar J.M.L., Hernandez P.A., Perez N.M., Melian G., Alvarez J., Segura F. & Notsu K. (2001) - *Diffuse emission of carbon dioxide from Cerro Negro Volcano, Nicaragua, Central America*. Geophysical Research Letters, 28: 4275-4278.

Sano Y. & Williams S.N. (1996) - *Fluxes of mantle and subducted carbon along convergent plate boundaries*. Geophysical Research Letters, 23: 2749-2752.

Sawyer G.M., Carn S.A., Tsanev V.I., Oppenheimer C. & Burton M. (2008) - *Investigation into magma degassing at Nyiragongo volcano, Democratic Republic of Congo*. Geochemistry, Geophysics and Geosystems, 9, Q02017, doi:10.1029/2007GC001829

Seward T.M. & Kerrick D.M. (1996) - *Hydrothermal CO₂ emission from the Taupo Volcanic zone, New Zealand*. Earth Planetary Science Letters, 139: 105-113.

Thomsen T.B. & Schmidt M.W. (2008) - *Melting of carbonated pelites at 2.5–5.0 GPa, silicate-carbonatite liquid immiscibility, and potassium-carbon metasomatism of the mantle*. Earth and Planetary Science Letters, 267: 17-31.

Varekamp J.C., Kreulen R., Poorter R.P.E. & Van Bergen M.J. (1992) - *Carbon sources of arc volcanism with applications for the carbon cycle*. Terra Nova, 4: 363-373.

Varley N.R. & Armienta M.A. (2001) - *The absence of diffuse degassing at Popocatepetl volcano, Mexico*. Chemical Geology, 177: 157-173

Wardell L.J. & Kyle P.R. (2003) - *Volcanic carbon dioxide measurements at Mt. Erebus, Antarctica*. IUGG, June 30-July 11, Sapporo, Japan.

Williams S.N., Schaefer S.J., Calvache M.L. & Lopez D. (1992) - *Global carbon dioxide emission to the atmosphere by volcanoes*. Geochimica Cosmochimica Acta, 56: 1765-1770.

Gli stagni del Monte Labro: un supporto per la biodiversità

Elena Mari, Elisa Santi, Sandro Piazzini

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali “G.Sarfatti”, via P.A. Mattioli 4 - 53100 Siena.
elenamari1983gmail.com; santi8@unisi.it; piazzini5@unisi.it

Attualmente assistiamo a una rapida trasformazione degli ambienti d’acqua dolce, dovuta principalmente all’eccessivo prelievo idrico, all’inquinamento e alla sostituzione delle pratiche agricole tradizionali con quelle di tipo intensivo. Le “strategie di protezione” di questi ambienti, i quali ospitano una straordinaria diversità di specie animali e vegetali in gran parte non reperibili altrove, sono risultate finora insufficienti. Nei progetti di “creazione” e/o “riqualificazione” di zone umide, per motivi economico-pratici sono maggiormente considerate quelle di piccole dimensioni (quali ad esempio gli stagni), le quali in ogni caso, analogamente a quelle più grandi, costituiscono una riserva idrica per scopi agricoli e assolvono un’importante funzione di supporto della flora e della fauna. A livello conservazionistico e gestionale è di fondamentale importanza verificare il successo di queste pratiche attraverso la progressiva colonizzazione di questi ambienti da parte degli organismi.

Introduzione

L’abbandono delle campagne, verificatosi in particolare a partire dal secondo dopoguerra, ha visto la progressiva scomparsa per interrimento dei piccoli invasi d’acqua dolce creati come riserva per l’irrigazione o l’abbeverata del bestiame brado. Per contrastare la scomparsa di questi corpi idrici, che insieme ad altre zone umide rappresentano da sempre vere e proprie “oasi” ospitali per la flora e la fauna (dalle alghe alle piante superiori, dagli insetti agli anfibi, dagli uccelli ai mammiferi, utilizzano questi ambienti per vivere, riprodursi, sostare e spostarsi), devono essere sviluppati progetti di ripristino, mantenimento o, addirittura, di creazione *ex novo*. Il successo di questi progetti che, per motivi economico-pratici, riguardano soprattutto zone umide di piccole dimensioni come gli stagni, è testimoniato dalla colonizzazione di questi ultimi da parte di numerose specie vegetali e animali (Williams *et al.* 2008; Gentili *et al.* 2002; Ruggiero *et al.* 2008; Ma *et al.* 2004).

Sebbene una definizione univoca di “stagno” non sia ancora universalmente accettata (EPCN 2010), secondo alcune recenti classificazioni (Oertli *et al.* 2000; Biggs *et al.* 2005) il termine includerebbe “corpi idrici, anche temporanei, caratterizzati da ridotta estensione (al massimo 2 ha) e scarsa profondità (da pochi centimetri fino a un massimo di 8 m)”. L’importanza di questi ambienti è stata riconosciuta a livello europeo sia con la direttiva Habitat 92/43/CEE (la quale inserisce gli stagni temporanei mediterranei tra gli habitat naturali d’acqua dolce di interesse comunitario), sia con l’istituzione della rete di monitoraggio European Pond Conservation Network (EPCN) da parte della comunità scientifica internazio-

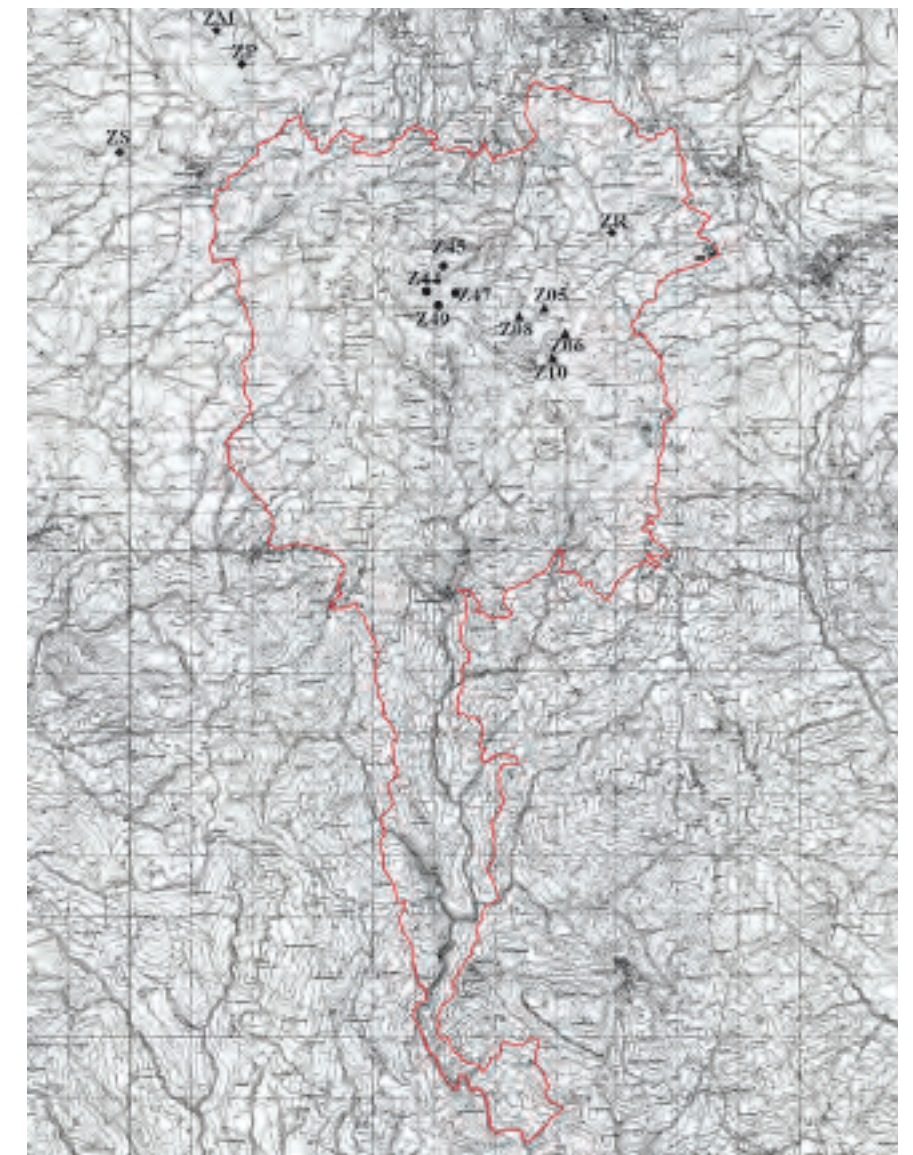
le (Workshop Europeo sugli Stagni, Ginevra 2004).

Per quanto concerne la Toscana meridionale, si ricorda che presso il Sito di Importanza Comunitaria (SIC), nonché Zona di Protezione Speciale (ZPS) “Monte Labro e Alta Valle dell’Albegna”, è stata creata una serie di stagni nell’ambito di due progetti *Life* finalizzati a incrementare i siti riproduttivi di anfibi e insetti acquatici. Le attività, svoltesi nel 2003 e nel 2007, hanno riguardato le escavazioni rispettivamente di 29 e di dieci stagni e hanno interessato una superficie complessiva di circa 2300 m².

Scopo di questo articolo è illustrare i risultati dell’effettiva utilizzazione di dodici stagni artificiali del Monte Labro da parte degli organismi acquatici. Per documentare tale utilizzazione, verificata su quattro stagni creati nel 2003, quattro nel 2007 e quattro presi per confronto tra quelli esistenti in zona da almeno venti anni (fig. 1), è stata considerata la presenza e l’abbondanza di macrofite (piante vascolari e macroalghe del genere *Chara* sp.), ritenute indicatrici della qualità di questi ambienti (Oertli *et al.* 2005), di insetti acquatici (principalmente Odonati e Coleotteri) e di anfibi; a tal fine nell’estate del 2007 sono stati registrati per ciascuno stagno il numero e l’abbondanza relativa dei taxa in esso presenti, utilizzando unità di campionamento (*plot*) di 0,25 m² disposte lungo due transeetti perpendicolari.

Gli stagni presi in considerazione sono stati suddivisi in tre gruppi: stagni di un anno (stagni creati nel 2007), stagni di cinque anni (stagni creati nel 2003) e stagni di venti anni; per ciascun gruppo sono stati calcolati il numero medio di specie di piante, anfibi e insetti e il numero medio di individui di anfibi e insetti.

1. Area di studio. Il SIC-ZPS Monte Labro e Alta Valle dell’Albegna e i 12 stagni considerati: le losanghe, i triangoli e i cerchi indicano rispettivamente quelli esistenti da 20 anni, 5 anni e 1 anno



Flora e fauna degli stagni

In totale sono stati considerati 195 *plot*: 48 negli stagni di un anno, 67 in quelli di cinque anni e 80 in quelli di venti anni. Sono state individuate 56 specie di piante superiori più le alghe del genere *Chara* sp. Molte delle macrofite campionate queste sono caratteristiche di questi ambienti, rinvenute maggiormente negli stagni di venti anni di età, come l'idrofita radicante *Potamogeton natans* e le specie igrofile *Alisma plantago-aquatica*, *Mentha suaveolens*, *M. aquatica*, *Typha latifolia* e *T. angustifolia*, nonché specie in grado di colonizzare sia prati umidi (come *Carex distans* e *C. hirta*), sia fossi, paludi e sponde (come *Holoschoenus australis*) (Pignatti 1982). *Agrostis stolonifera* è stata trovata solamente negli stagni di cinque anni, mentre *Apium nodiflorum* solo in quelli di un anno. Gli stagni di uno e cinque anni sono caratterizzati da specie igrofile come *Juncus bufonius*, *Veronica anagallis aquatica* e *V. beccabunga*. Il genere *Chara* sp. è presente esclusivamente negli stagni di cinque e venti anni.

Relativamente agli insetti, sono state riscontrate 28 specie. Delle tredici appartenenti all'ordine degli

Odonati, la frequenza maggiore spetta a *Libellula quadrimaculata* (in undici stagni su dodici) e a *L. depressa* (in sei stagni su dodici). *Lestes barbartus* e le specie delle famiglie Aeschnidae (*Anax imperator*, *A. parteno-pe*, *Aeschna mixta* e *A. cyanea*) e Coenagrionidae (*Ceragrion tenellum*, *Coenagrion scitulum* e *Pyrrhosoma nymphula*) sono state campionate esclusivamente negli stagni di venti anni. L'ordine dei Coleotteri è rappresentato da otto specie, ripartite tra Haliplidae (due specie), Dytiscidae (quattro specie), Helophoridae (una specie) e Hydrophilidae (una specie); le due specie più frequenti sono risultate l'idrofiliide *Helochares lividus* (in quattro stagni su dodici) e il ditiscide *Agabus bipustulatus* (in tre stagni su dodici). L'ordine degli Eterotteri è presente con quattro specie, la più frequente delle quali è *Notonecta glauca* (in undici stagni su dodici), seguita da *Corixa punctata* (in otto stagni su dodici) e da *Gerris lacustris* (in sette stagni su dodici); la specie *Ilyocoris cimicoides* è stata rinvenuta solo in uno stagno di venti anni. L'ultimo ordine in quanto a numero di specie (tre su 28) è quello degli Efemerotteri con la specie più frequente *Cleon dipterum* (in



2. Individuo di Raganella italiana, *Hyla intermedia* (foto G. Cappelli)

undici stagni su dodici), seguita da *Caenis luctuosa* (in due stagni su dodici) e da *Ephemera danica* (solamente in uno stagno di un anno).

Per quanto concerne gli anfibî, durante il campionamento sono state trovate cinque delle nove specie segnalate nel SIC-ZPS da Favilli & Piazzini (2000). Negli stagni di un anno sono stati rinvenuti soltanto individui subadulti di rana verde (*Rana synklepton hispanica*), ma non è stato osservato alcun segno di riproduzione. In quelli di cinque e venti anni, invece, questa è documentata dalla presenza di larve, di individui adulti in livrea nuziale o di entrambi. La specie più frequente è *Triturus carnifex* (in otto stagni su dodici), seguita da *Triturus vulgaris* (in cinque stagni su dodici) e da *Rana synklepton hispanica* (in quattro stagni su dodici). *Rana dalmatina* è stata individuata esclusivamente in uno stagno di venti anni, mentre *Hyla intermedia* (fig. 2) solamente in uno di cinque anni.

La tabella 1, nella quale sono esposti i principali risultati numerici e statistici delle nostre osservazioni su stagni di uno, cinque e venti anni del Monte Labro, mostra come gli stagni più vecchi supportino il maggior

numero di specie di piante, insetti e anfibî, nonché il maggior numero di individui e di specie di questi due ultimi gruppi.

Discussione

Dal numero delle specie rilevate in ciascuna classe di età degli stagni, risulta chiaro che gli invasi di riferimento (venti anni) sono di elevato valore conservazionistico, in quanto supportano un numero medio di specie di piante maggiore rispetto a quello documentato per gli invasi di età più recente; stessa cosa si osserva per il numero medio di specie e di individui di insetti e anfibî (Mari *et al.* 2010). Anche la presenza di idrofite ed elofite (specie più adattate alla vita acquatica) riscontrata in essi (fig. 3) consente di riconoscervi una diversificazione ambientale. All'interno di uno stesso stagno, infatti, può riscontrarsi una vegetazione a elofite, la quale ancora gli apparati radicali nel fango ed emerge con l'apparato fogliare dall'acqua (es. *Thypha*), e una a idrofite, completamente sommersa (es. *Chara*) o radicata ma con foglie galleggianti sulla superficie dell'acqua (es. *Potamogeton natans*). Questa disposizione della struttura della vegetazione per "livelli" (di fondo, flottante ed emersa) crea una serie di microhabitat particolarmente favorevoli all'instaurarsi di numerose specie di insetti acquatici e di anfibî, le quali hanno almeno una fase acquatica nel loro ciclo vitale. Non a caso proprio negli stagni più vecchi sono state ritrovate specie di Odonati appartenenti alle famiglie *Aeschnidae*, *Coenagrionidae* e *Lestidae*; tali specie selezionano l'habitat basandosi anche sulla copertura della vegetazione (Gibbons *et al.* 2002), la quale è utilizzata sia come substrato per la deposizione delle uova, sia come rifugio e supporto per affrancarsi dalla vita acquatica durante lo sfarfallamento (passaggio dalla fase immatura di ninfa a quella di adulto sessualmente maturo). Sempre per lo stesso motivo, negli stagni più vecchi è stato registrato il maggior numero di individui delle due specie di tritoni (*Triturus*) che sono solite riprodursi in acqua e

deporre le uova, singolarmente o a piccoli gruppi, ripiegando il margine inferiore delle foglie sommerse a scopo protettivo (Vanni & Nistri 2006).

Gli stagni oggetto della azioni di riqualificazione nell'area del Monte Labro sono invece in fase di colonizzazione da parte dei taxa vegetali e animali sopra indagati (Maccherini *et al.* 2008). Per quel che riguarda le macrofite, molte sono le specie pioniere destinate a formare nel tempo quella diversità strutturale degli habitat, tanto importante per la riproduzione di insetti acquatici e anfibî. Negli stagni di un anno la colonizzazione è iniziata con specie igrofile (dei generi *Veronica* e *Carex*), insediatesi principalmente nelle sponde e nel terreno umido a esse antistante; in quelli di cinque anni a tali specie si affiancano le alghe del genere *Chara* sp., le quali contribuiscono a formare un denso tappeto di vegetazione sommersa. La scarsa eterogeneità ambientale si riflette nella bassa ricchezza specifica di insetti acquatici e anfibî registrata in queste due classi di età. Gli anfibî, ad esempio, non usano gli stagni di un anno a scopo riproduttivo, mentre ciò si verifica in quelli di cinque anni. Gli insetti acquatici presenti in tutte e tre le tipologie di stagno, ma in maggior misura negli stagni di uno e cinque anni, appartengono a specie poco esigenti in termini di habitat riproduttivo (come *Libellula quadrimaculata*, *Cloeon dipterum* e *Notonecta glauca*) che colonizzano rapidamente ambienti di neoformazione (Tamanini 1979; Belfiore 1983; Carchini 1983).

Conclusioni

La rilevanza naturalistica dell'area di studio (Monte Labro Alta Valle dell'Albegna, codice sito: IT51A0018, SIC approvato con Del. C.R. del 10/11/1998 n°342 e ZPS approvato con decreto del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio del 25 marzo 2005) è messa in evidenza anche dalla presenza all'interno del SIC-ZPS di tre riserve naturali provinciali: Monte Labro, Pescinello e bosco di Rocconi e del Parco faunistico del Monte Amiata. La volontà di salvaguardare il patrimonio naturalistico dell'area ha spinto la Comunità montana del Monte Amiata grossetano e il WWF Italia a proporre due progetti secondo il regolamento *Life*.

Il primo progetto *Life Natura*, denominato *Monte Labbro e Alta Valle dell'Albegna, tutela e gestione* (codice LIFE99NAT/IT/006229), è stato approvato nel 1999 dalla Commissione Europea; attualmente conclusosi, ha avuto durata quadriennale (1999-2003) e ha previsto la realizzazione di una serie di interventi di miglioramento ambientale. Hanno finanziato il progetto l'Unione Europea, la Comunità montana dell'Amiata grossetano e WWF Italia.

Un secondo progetto *Life Natura*, denominato *Tutela degli Habitat e dei Rapaci del Monte Labbro e dell'Alta Valle dell'Albegna* (codice LIFE04NAT/IT/000173), è stato approvato nel 2004 dalla Commissione Europea. Il pro-



3. Stagno di riferimento con vegetazione flottante

getto, della durata di quattro anni (2004-2008), prevede la realizzazione di una serie di interventi di miglioramento ambientale e di tutela dall'avifauna minacciata. Hanno finanziato il progetto l'Unione Europea e la Comunità montana dell'Amiata grossetano.

Attività principale della prima parte del progetto LIFE99NAT/IT/006229 è stata la raccolta di informazioni al fine di stilare un inventario scientifico. Questo ha rappresentato il punto di partenza per la preparazione del piano di gestione, in quanto ha definito l'insieme delle minacce e degli elementi di degrado che agiscono o che potrebbero agire in futuro sugli habitat e sulle singole specie della flora e della fauna del SIC-ZPS, ponendo le basi per interventi di recupero e di miglioramento ambientale (WWF Italia 2000).

Entrambi i progetti hanno previsto interventi quali: la conservazione di piccole zone umide attraverso l'ampliamento e la ripulitura di stagni artificiali a rischio di interrimento; la riqualificazione di fontanili; la realizzazione di nuovi stagni. Quest'ultimo intervento ha riguardato 50 piccoli stagni (40 realizzati durante il progetto LIFE99NAT/IT/006229 e 10 durante il progetto LIFE04NAT/IT/000173) per una superficie totale di circa 2300 m²; le azioni intraprese hanno mirato a incrementare i siti riproduttivi per anfibî e insetti acquatici.

Al fine di verificare l'effettiva utilizzazione dei piccoli invasi da parte di organismi locali, il presente studio ha preso in considerazione macrofite, insetti acquatici e anfibî. È stato così possibile osservare che la complessità della struttura della vegetazione aumenta progressivamente con l'età: infatti, gli stagni di un anno presentano solo scarse coperture di elofite, quelli di cinque anni mostrano un incremento di elofite e la comparsa di vegetazione sommersa (prevalentemente alghe del genere *Chara*), quelli di 20 anni registrano anche la presenza di idrofite flottanti. Parallelemente alla complessità della struttura della vegetazione è aumentato il numero di specie animali particolarmente esigenti in termini di habitat.

Tabella 1. Numero totale, media e deviazione standard (d.s.) delle specie di macrofite, insetti e anfibî, nonché degli individui di queste due ultime classi, con riferimento alle differenti età degli stagni (1, 5 e 20 anni)

variabile		classe di età degli stagni					
		1 anno		5 anni		20 anni	
		totale	media (d.s.)	totale	media (d.s.)	totale	media (d.s.)
Macrofite	n. specie	20	6 (4)	15	6 (3)	43	15 (13)
	n. individui	307	77 (15)	312	78 (49)	465	116 (68)
Insetti	n. specie	11	7 (2)	10	6 (1)	23	10 (1)
	n. individui	307	77 (15)	312	78 (49)	465	116 (68)
Anfibî	n. specie	0	0	5	2 (2)	5	3 (1)
	n. individui	0	0	64	16 (11)	114	29 (24)



4. Individuo di Tritone crestato, *Triturus cristatus* (foto G. Cappelli)

Le azioni di riqualificazione adottate con la creazione di nuovi stagni negli anni 2003 e 2007 hanno fornito un habitat idoneo per le specie vegetali acquatiche. Tali azioni contribuiscono attualmente (per quel che riguarda le specie pioniere) e contribuiranno in futuro (per le specie più “ecologicamente” esigenti) a fornire agli organismi locali l’opportunità di diffondersi sull’intero territorio. Ciò risulta importante soprattutto per quelle specie protette da leggi nazionali o internazionali, o poco diffuse sul territorio italiano. Tra le specie più significative sul piano conservazionistico possiamo ricordare *Triturus cristatus* e *Triturus vulgaris* (figg. 4-5), entrambi inclusi nell’Allegato III della Convenzione di Berna, negli Allegati II e IV della Direttiva Habitat 92/43/CEE e, rispettivamente, negli Allegati A e B della L.R. Toscana n. 56/00; *Hyla interme-*



5. Individuo di Tritone punteggiato, *Triturus vulgaris* (foto G. Cappelli)

dia, specie endemica italiana che si trova nell’area di studio a 1010 m (cioè ai limiti della distribuzione altitudinale nota per l’Italia e la Toscana, secondo Vanni & Nistri 2006 e Sindaco *et al.* 2006), inclusa nell’Allegato II della Convenzione di Berna e nell’Allegato B della L.R. Toscana n. 56/00; *Rana dalmatina*, inclusa nell’Allegato II della Convenzione di Berna. Tra gli insetti, le specie più interessanti sono *Anax imperator* (le cui larve sono le più grandi tra tutte le specie di Odonati europei), *Anax parthenope*, *Aeschna mixta*, *Ceragrion tenellum*, *Coenagrion scitulum* e *Lestes macrostigma* (tutte poco frequenti in Italia, secondo Carchini 1983).

Maggiori informazioni riguardanti i progetti *Life* e i risultati ottenuti in questo studio, possono essere reperite on line al sito www.lifelabbroalbegna.it.

Testi citati

Belfiore C. (1983) - *Guida per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane: Efemerotteri (Ephemeroptera)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.

Biggs J., Williams P., Whitfield P., Nicolet P. & Weatherby A. (2005) - *15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 15: 693-714.

Carchini G. (1983) - *Guida per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. Odonati (Odonata)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.

EPCN, European Pond Conservation Network - *The pond Manifesto*. Disponibile nel sito internet: www.europeanponds.org, accesso del 15/01/2010.

Favilli, L. & S. Piazzini (2000) - *Crostacei Decapodi, Lepidotteri Ropaloceri, Pesci, Anfibi e Rettili*. Inventario Scientifico del territorio compreso nel SIC Monte Labro e Alta Valle dell’Albegna. Comunità Montana del Monte Amiata Area grossetana e WWF Italia: 170-243.

Gentili A., Scali S., Barbieri F. & Bernini F. (2002) - *A three-year project for the management and the conservation of amphibians in Northern Italy*. Biota, 3: 25-31.

Gibbons L.K., Reed J.M. & Chew E.S. (2002) - *Habitat requirements and local persistence of three damselfly species (Odonata: Coenagrionidae)*. Journal of Insect Conservation, 6: 47-55.

Ma Z., Li B., Zhao B., Jing K., Tang S. & Chen J. (2004) - *Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? - A case study on Chongming Island, China*. Biodiversity and Conservation, 13: 333-350.

Maccherini E., Santi E., Mari E., Bacaro G., Casini F., Del Vico E., Marignani M., Renzi M. (2008). *Relazione tecnica: monitoraggio*

della biodiversità vegetale negli habitat oggetto degli interventi previsti dal Progetto LIFE Natura Biarmicus - LIFE04NAT/IT/000173 - committente: Comunità Montana Amiata grossetana. Disponibile online nel sito internet: http://www.lifelabbroalbegna.it/documenti/Monitoraggio_botanico_2008.pdf

Mari E., Santi E., Piazzini S., Renzi M., Maccherini S. (2010). *Development of biological diversity in farmland ponds*. Journal of Freshwater Ecology, 25 (1): 95-105.

Oertli B., Auderset J.D., Castella E., Juge R. & Lachavanne J.-B. (2000) - *Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse*. Geneva.

Oertli, B., J. D. Auderset, E. Castella, R. Juge, A. Lehmann & J.-B. Lachavanne (2005). *PLOCH: a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 15: 665-679.

Pignatti S. (1982) - *Flora d’Italia*. Edagricole, Bologna.

Ruggiero A., Céréghino R. & Figuerola J. (2008) - *Farm ponds make a contribution to the biodiversity of aquatic insects in a French agricultural landscape*. C.R.Biologies, 331, 298-308.

Sindaco R., Doria G., Mazzetti E. & Bernini F. (2006) - *Atlante degli Anfibi e dei Rettili d’Italia*. Polistampa, Firenze.

Tamanini L. (1979) - *Guida per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane: Eterotteri acquatici (Heteroptera: Gerromorpha, Nepomorpha)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.

Vanni S. & Nistri A. (2006). *Atlante degli Anfibi e dei Rettili della Toscana*. Museo di Storia Naturale dell’Università degli studi di Firenze, Sezione di Zoologia “La Specola”.

Williams P., Whitfield M. & Biggs J. (2008). *How can we make new ponds biodiverse? A case study monitored over 7 years*. Hydrobiologia, 597: 137-148.

Il punto della situazione



Estremità di Punta Ala (Castiglione
della Pescaia) con i suoi caratteristici isolotti
(foto "Il Graffio", Follonica)

Oltre l'evoluzionismo: verso una concezione olistica e archetipale del divenire dei viventi

Roberto Fondi

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina, 8 - 53100 Siena.

Le seguenti riflessioni, che fanno “il punto della situazione” sulle problematiche dell’evoluzione biologica e sull’evoluzionismo, riprendono almeno in parte i contenuti della *lectio magistralis* da me tenuta il pomeriggio del 16 dicembre 2009, in occasione del mio pensionamento, nell’aula storica del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università di Siena. Le dedico con affetto a tutti i miei ex-colleghi, a tutti i miei ex-studenti, all’amico Marcello Barbieri e, *last but not least*, a tutti coloro che si sentono realmente responsabili della vita e del buon funzionamento del sistema scolastico-universitario della nostra nazione.

Su due recenti e infelici esempi di critica all’evoluzionismo

Libri di critica seria e disinteressata all’evoluzionismo non sono frequenti, per lo meno qui in Italia; nel 2009 rimasi perciò piacevolmente sorpreso quando Enzo Pennetta, insegnante di scienze in un liceo di Roma e autore di uno stimolante saggio sul darwinismo pubblicato quest’anno¹, mi inviò in omaggio, con la preghiera di commentarglieli, due libri freschi di stampa di critica all’evoluzionismo che sembravano dotati di tutte le garanzie della solidità scientifica. I testi, infatti, si riferivano a due convegni, tenutisi rispettivamente il 3 novembre 2008 presso l’aula di Patologia generale del Policlinico Umberto I di Roma e il 23 febbraio 2009 presso la vicepresidenza del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Gli atti del primo convegno, organizzato dai medici Pierre Rabischong e Fabio Scoppa e intitolato *A Scientific Critique of Evolution*, componevano un volume edito dal Dipartimento di Neurologia e Otorinolaringoiatria dell’Università Sapienza di Roma², mentre quelli del secondo, riuniti a cura dello stesso vicepresidente del CNR, Roberto De Mattei, in un volume dal titolo *Evoluzionismo: il tramonto di un’ipotesi*, erano stati pubblicati a Siena da Cantagalli³.

Non ho ancora esaminato tutte le relazioni contenute nei due testi, però ho letto quelle su materie di mia competenza e nelle quali mi pareva che maggiormente risiedesse l’originalità di entrambi i convegni: cioè la relazione di Guy Berthault sull’interpretazione dei pacchi di strati contenenti fossili e quella di Jean de Pontcharra e collaboratori sulla critica ai metodi di datazione assoluta e sulla datazione di ossa di dinosauro mediante radio-carbonio. La lettura è stata assai deludente.

Dal 1986 al 1997, Berthault ha pubblicato in riviste francesi d’indubbia serietà alcuni lavori relativi a esperimenti di carattere sedimentologico effettuati in laboratorio, e su questi lavori non credo che vi sia niente da ecce-

pire. L’assurdo viene fuori quando l’autore pretende di generalizzare i risultati di tali esperimenti per riaprire la porta alla tesi vetero-creazionista della successione stratigrafico-fossilifera depositatasi tutta insieme in un tempo breve a causa di un evento catastrofico su scala planetaria come il biblico “diluvio universale”. Accettare tale tesi equivale a considerare *tout court* come priva di valore l’intera e sterminata documentazione messa su dai geologi, dagli stratigrafi e dai paleontologi in quasi due secoli di intenso e ininterrotto lavoro condotto in ogni parte del mondo. Quanto alla critica ai metodi di datazione assoluta di de Pontcharra e collaboratori, è significativo che essa si focalizzi essenzialmente su quello del potassio-argon, che effettivamente ha dimostrato di essere poco affidabile. Allo stato attuale, comunque, di metodi di datazione assoluta diversi da quello del potassio-argon ce n’è un’intera schiera, per cui lo spessore di tale critica non può che rivelarsi assai limitato. D’altra parte, pretendere di datare fossili di dinosauro con il metodo del radiocarbonio è veramente troppo, in quanto è un fatto che tali fossili dell’era Mesozoica, cioè inglobati in rocce sottostanti a quelle dell’era Cenozoica o attuale, risultano essere nella loro stragrande maggioranza mineralizzati o permineralizzati, con conseguente perdita di qualsiasi traccia di materia organica e quindi anche di carbonio; e quand’anche in qualche raro e fortunato caso (mi vengono qui in mente le impronte delle parti molli associate all’unico scheletro di dinosauro rinvenuto in Italia, il piccolo *Scipionyx samniticus*) si fosse conservata un po’ di materia organica, sotto forma di collagene o altro, come escludere in maniera tassativa che questa sia stata contaminata da carbonio più recente filtrato dai pacchi di strati sovrastanti?

Più che a reali e disinteressate ricerche scientifiche, dunque, si ha l’impressione di avere a che fare con due ulteriori tentativi di contrabbandare, camuffandole dietro una veste di apparenza scientifica, tesi precostituite non scevre da istanze o interessi di natura fideistico-religiosa. Per cui non mi sorprende che il 7 marzo 2009

la cattolica Università Gregoriana di Roma – quasi come per stabilire, di fronte agli ambienti scientifico-culturali, prudenti distanze dalle tesi sostenute nei convegni di Rabishong, Scoppa e de Mattei – abbia ritenuto opportuno ospitare un seminario sull’evoluzione organizzato dalla Templeton Foundation e avente quali protagonisti Francisco Ayala e Douglas Futuyma, cioè due ben noti evoluzionisti darwiniani e critici del “creazionismo” (uso le virgolette perché non capisco che cosa significhi questa parola, da un punto di vista strettamente scientifico). E così si è finiti col cadere dalla padella nella brace: cioè, tanto per essere chiari, da una mistificazione alla mistificazione opposta e contraria.

Inadeguatezza dell’evoluzionismo: il verdetto finale della paleontologia

Dal 1811, anno nel quale Georges Cuvier e Alexandre Brongniart posero le fondamenta della paleontologia e della biostratigrafia moderne con il loro *Essai sur la géographie des environs de Paris*, l’umanità ha acquisito prove inequivocabili e sempre più numerose che la vita sulla Terra non si è sviluppata *ab initio* in maniera sempre uguale e uniforme, bensì ha variato ripetutamente di configurazione nello spazio e nel tempo, rivelando seppure da una prospettiva molto ampia un progressivo incremento di complessità. Presentato come sopra, *senza ulteriori precisazioni*, questo fenomeno grandioso – che è perfettamente corretto definire EVOLUZIONE BIOLOGICA – corrisponde a un *datum* della natura impossibile da confutare.

Tutt’altro valore e significato, invece, deve essere attribuito all’EVOLUZIONISMO (o “TEORIA DELL’EVOLUZIONE” nel senso in cui comunemente viene intesa) e al DARWINISMO. Questi, infatti, malgrado risultino ben radicati nel nostro terreno culturale da oltre un secolo e mezzo e continuino a essere presentati dai mezzi di comunicazione di massa come acquisizioni definitive e irrevocabili della scienza, in realtà non sono altro che miti. Miti non nel senso di costruzioni della fantasia più o meno dense di significati simbolici come le fatiche di Ercole o la disobbedienza di Adamo, bensì nel senso di idee che derivano la loro forza, molto più che da elementi scientificamente fondati, soprattutto dalla carica di suggestione in esse implicita e dalla capacità di suscitare specifiche direttrici d’azione.

Ma andiamo con ordine, analizzando un po’ più a fondo queste idee.

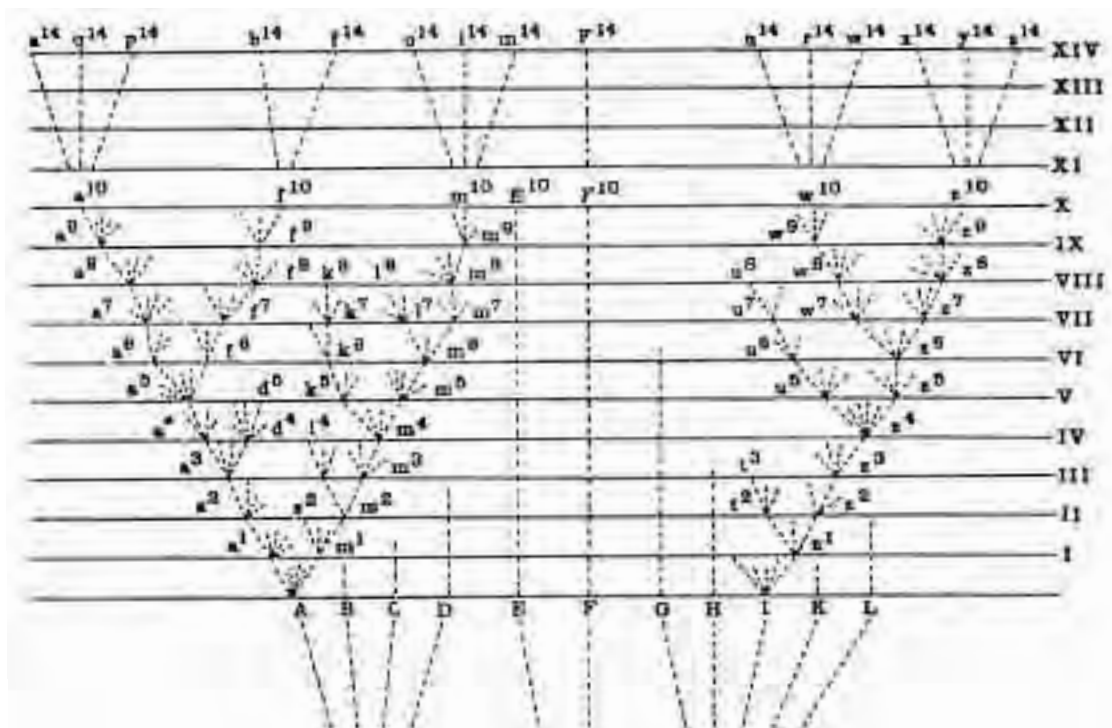
Cominciamo dall’EVOLUZIONISMO. In che cosa consiste? Com’è noto, nel ritenere che il *datum* inconfutabile di cui parlavamo prima non possa essere interpretato altrimenti che come un processo di “discendenza con modificazione da progenitura comune”, cioè aderente alle ordinarie e “classiche” leggi della causalità caratterizzate dalla diacronicità (*post hoc, ergo propter hoc*), dalla continuità e dalla località, e pertanto pienamente rappresentabile tramite il canonico modello lineare dell’albero genealogico (o, come si preferisce dire nell’ambiente accademico, filogenetico).

È evidente che sposare la suddetta interpretazione non equivale affatto a prendere atto di un nuovo *datum* oggettivo e constatabile da ogni essere umano, bensì implica una precisa presa di posizione intellettuale, il cui valore effettivo può essere stabilito unicamente sulla base dei risultati dell’attività scientifica. Si ha a che fare, insomma, con un vero e proprio *paradigma* nel senso di Thomas Kuhn, ovvero una sorta di postulato adottato *a priori* e sulla base del quale sono state e continuano tuttora a essere proposte ipotesi, pianificati programmi di ricerca, interpretati i risultati ottenuti dalla messa in atto di tali programmi e organizzata la didattica in ambito sia scolastico-universitario (lezioni e libri di testo) che pubblico (musei ed esposizioni, trasmissioni audio-televisive e scritti divulgativi).

Rigorosamente impostate su tale paradigma, sono state così elaborate e proposte numerose TEORIE, che forse sarebbe più corretto qualificare come *ipotesi*, aventi in comune l’obiettivo di spiegare *come*, ovvero *mediante quali modalità o meccanismi*, ha potuto realizzarsi il divenire dei viventi. Ricordo, elencandole in senso cronologico e senza pretendere di abbracciarle tutte: la teoria di Lamarck; la teoria di Erasmus Darwin (il nonno di Charles); la teoria di Wallace; il primo neodarwinismo (Weissman); il neolamarckismo (Naegeli, Eimer, Cope, Déperet ed altri); la nomogenesi di Berg; l’aristogenesi di Osborn; l’ologenesi di Rosa; la cosmolisi di Blanc; la teoria dell’*age and area* di Willis; il tipostrofismo di Schindewolf; l’evoluzione “quantistica” di Simpson; il secondo neodarwinismo o “teoria sintetica” (di Fischer, Haldane, Dobzhansky, Huxley, Mayr e vari altri); la teoria dello *space-time-form* di Croizat; la teoria dei *punctuated equilibria* di Eldredge e Gould; la teoria neutralista di Kimura; la teoria semantica di Barbieri; la teoria costruttiva di Sarà.

Ora, per quanto mi riguarda, devo confessare che la regolare e persistente indifferenza degli evoluzionisti di fronte al netto disaccordo fra ciò che prescrive il paradigma da essi adottato e ciò che invece risulta dall’esame oggettivo della documentazione fossile, non ha mai cessato di stupirmi. Il quadro dell’evoluzione fornitoci da tale documentazione, infatti, non soltanto *non* riflette affatto quello schematizzato nell’unica figura presente nel tanto osannato e ricordato *On the Origin of Species* di Darwin (fig. 1), bensì rimane sistematicamente aderente a quello delineato nei tanto trascurati e dimenticati *Discours sur les révolutions de la surface du globe* di Cuvier.

Fin dalla nascita della loro disciplina, i paleontologi sono perfettamente coscienti del fatto che la documentazione fossilifera non mostra praticamente “*cladi*” o *ramificazioni*, ma soltanto “*gradi*” o *cambiamenti graduali* – *limitati però unicamente ai livelli più bassi e circoscritti della gerarchia tassonomica, ossia sottospecifico o, tutt’al più, specifico-generico*⁴. Questi cambiamenti, qualificati quasi spregiativamente come “microevolutivi”, risultano essere più o meno facilmente interpretabili come ecofenotipi da adattamento o “norma di reazione” alle fluttuazioni dei fattori ambientali. Si tratta, in ogni caso, di cambiamenti



1. La celebre figura di *On the Origin of Species* di Darwin (1859) relativa al modo in cui si è svolta l'evoluzione biologica. Come già da Lamarck nella *Philosophie zoologique* (1809), essa è paradigmaticamente assunta quale processo causale o deterministico-lineare, diacronico, locale e divergente di "discendenza con modificazione da antenati comuni". Notare che le linee di collegamento sono tutte tratteggiate (in Lamarck erano allineamenti di punti)



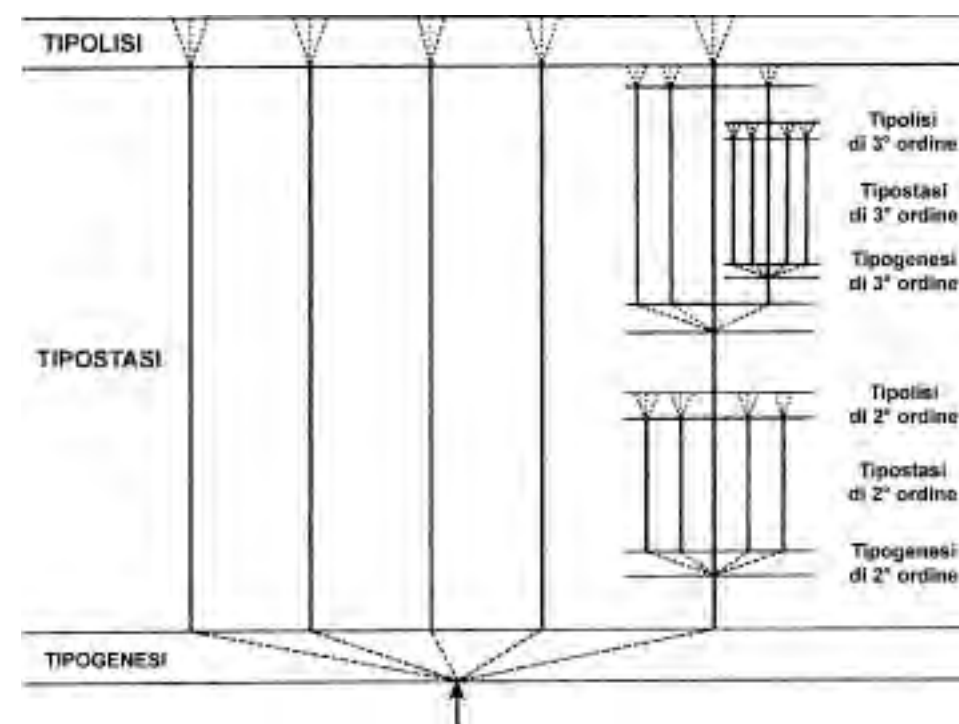
2. Il paleontologo tedesco Otto Heinrich Schindewolf (1896-1971)

spesso reversibili e di portata per lo più⁵ assai limitata. A questi livelli, insomma, non si assiste mai al formarsi graduale di strutture nuove e più complesse come ad esem-

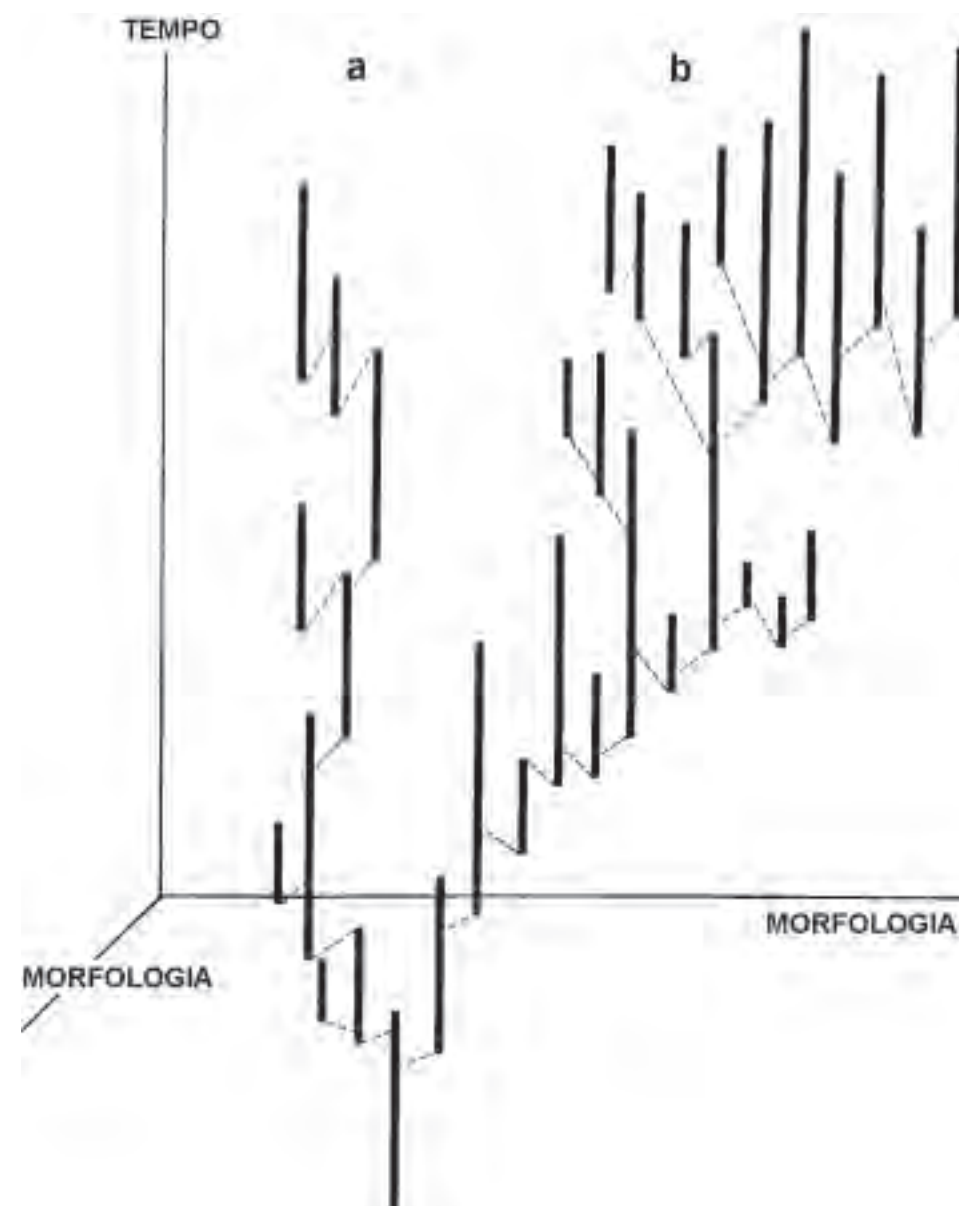
pio, per limitarci ai vertebrati, gli arti degli anfibi dalle pinne dei pesci o le penne e il sistema dei sacchi aerei degli uccelli dalle squame e dai polmoni dei rettili. Per contro, poiché nella suddetta documentazione le strutture nuove che caratterizzano i livelli più elevati della gerarchia tassonomica compaiono sempre in maniera improvvisa, dal punto di vista "macroevolutivo" lo sviluppo della vita sulla terra si presenta come regolarmente caratterizzato da fenomeni discreti – cioè discontinui – di comparsa-permanenza-estinzione, coordinati fra loro in insiemi coerenti, o complessi ecosistemici, egualmente discreti.

Quanto ho detto finora, lo ripeto, è ben noto a tutti i paleontologi. Ma che succede quando si chiede a questi di spostarsi dal piano empirico a quello teoretico della loro attività? Succede che essi, malgrado i risultati delle loro ricerche vadano regolarmente e sistematicamente contro alle aspettative del paradigma evoluzionistico, non esprimono alcun segno di dubbio nei confronti della validità di tale paradigma, cui invece continuano a rimanere tenacemente aggrappati⁶. Per i paleontologi, il meccanismo fondamentale del divenire biologico continua a rimanere di natura deterministico-lineare, diacronica, locale e divergente. Viene però introdotta una notevole differenza rispetto al modello ortodosso: tale meccanismo si estrinsecherebbe in lunghi intervalli temporali di stasi, o immobilità evolutiva, accompagnati da brevissimi eventi di cambiamento. E questo differente modello, definito "tipostrofico" nel 1950 dal tedesco Otto H. Schindewolf (figg. 2-3)⁷ e degli "equilibri puntuati" nel 1972 dagli statunitensi Niles Eldredge e Stephen Jay Gould (fig. 4)⁸, si applicherebbe non soltanto a qualsia-

3. Il processo macroevolutivo quale risulta dalla documentazione paleontologica secondo Schindewolf (1950, modif.), definito "tipostrofico" da questo autore; poiché soltanto le linee continue verticali si riferiscono a reale materiale fossile, è evidente che le linee tratteggiate divergenti sono postulate unicamente allo scopo di non abbandonare il paradigma evoluzionistico



4. Il modello dei *punctuated equilibria* di Eldredge e Gould (1972). Nella sua sostanza corrisponde a quello tipostrofico di Schindewolf. Anche qui soltanto le linee continue verticali si riferiscono a reale materiale fossile, mentre le linee tratteggiate – indicatrici di percorsi relativamente stabili (a) o ampiamente diversificatori (b) dal lato morfologico – sono postulate unicamente allo scopo di non abbandonare il paradigma evoluzionistico



si livello della gerarchia sistematica, dalla specie al regno, ma anche alle differenti unità ecosistemiche che via via hanno caratterizzato la storia della biosfera. Alla fine degli anni novanta del secolo scorso, infatti, gli statunitensi Carlton Brett e Gordon Baird hanno mostrato⁹ come quello degli equilibri puntuali possa essere considerato quale caso particolare di un modello evolutivistico ancora più generale, da essi denominato della “stasi coordinata”, secondo cui gli eventi di stabilità e di cambiamento biologico, ben lungi dall’essere distribuiti a caso nella successione stratigrafica, si presentano come elementi costitutivi di un numero ben definito di vere e proprie organizzazioni ecosistemiche o “unità ecologiche evolutive” – le medesime individuate almeno due decenni prima da Arthur Boucot, e perciò chiamate anche “unità di Boucot” – le quali, esattamente come le specie che le compongono, mostrano regolarmente di essere comparse in modo brusco, di essersi mantenute sostanzialmente immutate per lunghi tratti di tempo geologico e, infine, di essere scomparse altrettanto bruscamente come erano iniziate (fig. 5).

A meno che il paradigma evolutivistico non venga abbandonato, diviene dunque obbligatorio assumere che le fasi di transizione macroevolutiva – cioè non semplicemente di riequilibrio adattativo alle variazioni ambientali da parte di gruppi sistematici di livello da sottospecifico a specifico/generico, ma implicante l’insorgere coordinato di nuove strutture caratterizzanti sia gruppi di livello sopra-specifico/generico (famiglie, ordini, classi, tipi, regni), sia interi complessi ecosistemiche – si siano svolte in maniera talmente rapida da renderne praticamente impossibile qualsiasi adeguata documentazione paleontologica. È il problema cruciale dei *missing links* o “anelli mancanti”, disinvoltamente rimosso con l’introduzione *ad hoc* di oscuri cambiamenti evolutivi – e coevolutivi – verificatisi a ritmo precipitoso.

Mi sento perciò autorizzato a concluderne – secondo scienza e coscienza e senza per questo sentirmi affatto un adepto del “creazionismo scientifico” (?), sia pure nella veste più moderna ed elegante del cosiddetto *Intelligent Design*, – che il quadro generale della macroevoluzione presentatosi dalla paleontologia è inequivocabile nel delineare un processo interattivo svolgentesi all’insegna non della continuità, della linearità e della divergenza, bensì della discontinuità, della non-linearità e della convergenza.

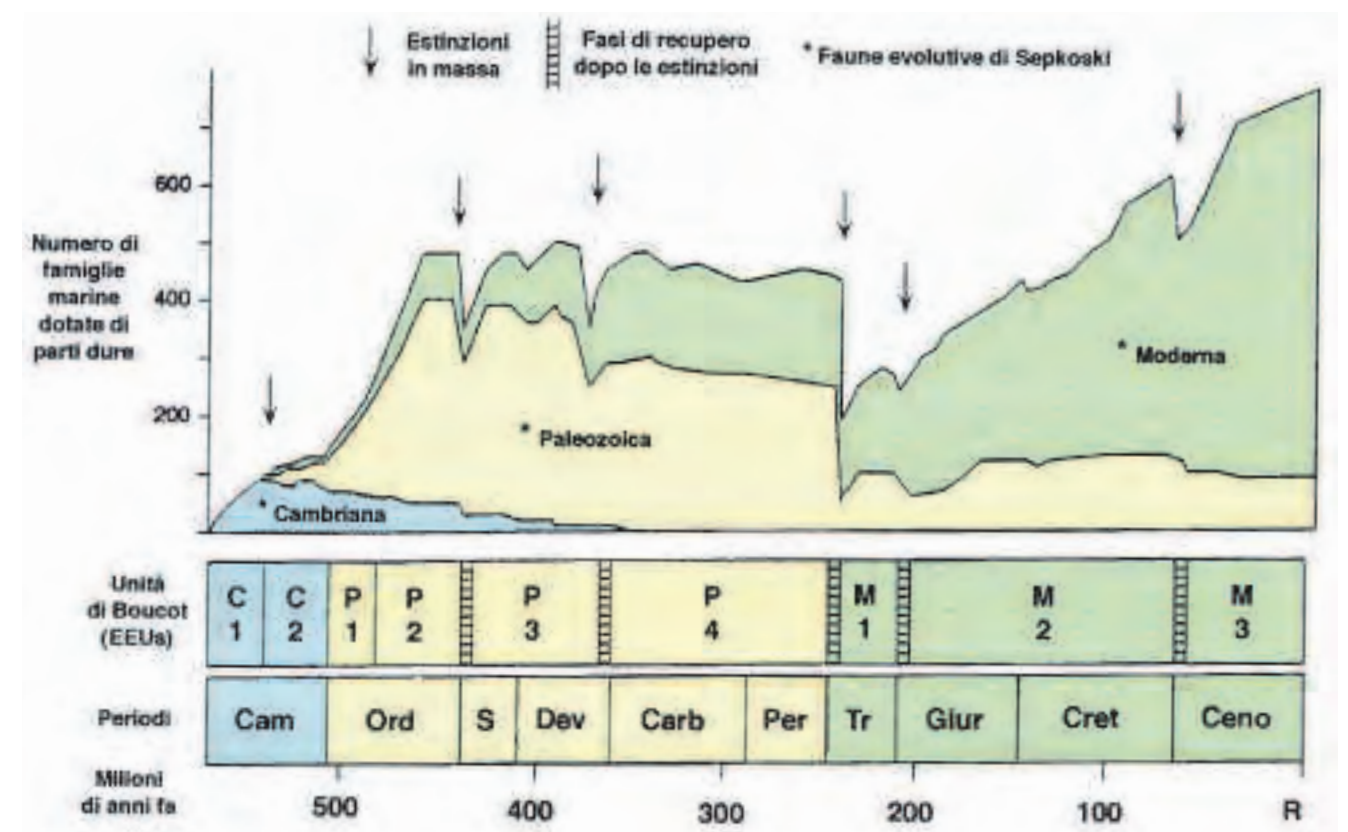
Mi sento altresì autorizzato a concluderne che il principale – immenso! – contributo della paleontologia alle scienze della natura sia da indicarsi non soltanto nell’aver dimostrato in maniera inoppugnabile la realtà dell’evoluzione biologica, ma anche nell’aver precisato che questa non è rappresentabile sotto forma di albero genealogico, come credevano i padri fondatori del pensiero evolutivistico e come ancora oggi continuano a credere tutti i loro seguaci. Lo schema canonico dell’albero genealogico, malgrado abbia radici profonde nell’immaginario collettivo del vasto pubblico sia profano sia accademico, dà un quadro distorto e ridicolmente semplicistico del divenire dei viventi.

L’inesistente teoria di Darwin e il fin troppo esistente darwinismo

Il lettore si domanderà perché in precedenza, nel nutrito elenco delle “teorie” esplicative dell’evoluzione fino a oggi proposte, non ho incluso la “TEORIA DI DARWIN”. Non l’ho fatto perché questa semplicemente non esiste. Se è infatti innegabile che Darwin, nella prima edizione di *Sull’origine di specie*, fece pieno affidamento sul meccanismo “variazioni fortuite / selezione naturale”, ripreso in definitiva dalle opere del nonno Erasmus e di Wallace, è altrettanto innegabile che nelle cinque edizioni successive della medesima opera egli divenne progressivamente più incerto e confuso in proposito, tanto da giungere a sconfessare apertamente l’importanza del suddetto meccanismo. Con ogni probabilità, a Darwin non interessava affatto cercare di capire e stabilire come realmente si è svolta l’evoluzione dei viventi, ma soltanto impegnarsi per far accettare un’idea preconcetta: quella secondo cui tutte le creature, compreso l’uomo, lungi dal conformarsi a modelli o archetipi implicanti l’esistenza di fattori olistici o “super-ordinatori”, sono soltanto il risultato di semplici, lunghi e lenti processi di natura deterministica.

A distanza di mezzo secolo dacché furono pubblicati, trovo che gli icastici giudizi su Darwin espressi nel 1960 da Cyril Dean Darlington nel suo *Darwin’s Place in History* e da me riportati nel mio articolo *Il lato nascosto di Darwin*¹⁰ abbiano mantenuto tutto il loro valore. Giudizi indubbiamente assai severi, ma altrettanto indubbiamente pieni di coraggio, se si tiene conto del clima culturale divenuto dominante dal secondo dopoguerra a oggi. Tutti possono costatare, infatti, con quanta cura e con quanto zelo una figura tutto sommato così inconsistente sul piano del sapere scientifico e così ambigua ed evasiva sul piano umano sia stata mummificata, collocata sugli altari e celebrata con regolarità dai sedicenti depositari del suo verbo.

Questo ci porta a parlare direttamente del darwinismo. Che, contrariamente all’inesistente teoria di Darwin, non soltanto esiste, ma rappresenta da molto tempo la posizione teorica “ufficiale” in seno al mondo accademico. Nella sua formulazione ortodossa, esso considera l’evoluzione biologica come nient’altro che il risultato di mutazioni fortuite, segregazioni, ricombinazioni e deriva genetica a livello dei genotipi, sui fenotipi dei quali agirebbe poi la selezione naturale conservando quelli meglio adattati all’ambiente ed eliminando tutti gli altri. Nello scartare come “non necessaria” qualsiasi ipotesi di fattori super-ordinatori intrinseci all’organizzazione degli enti naturali e del loro insieme, i darwinisti ritengono perciò irrilevante il problema dell’origine di peculiarità clamorose quali le risposdenze morfologiche con l’ambiente, le omologie, le analogie, le interrelazioni e gli aspetti di natura “semiotica” che pure dominano in seno al mondo biologico. Nella loro ottica tali peculiarità, anche le più ultra-sofistiche, sono quel-



5. La successione dal Cambriano a oggi delle “unità ecologiche evolutive” (EEUs), o di Boucot, relative agli invertebrati marini dotati di parti dure. Le unità sono indicate con riferimento alle tre “faune evolutive” di Sepkoski: la Cambriana (C), la Paleozoica (P) e la Moderna (M) (da Sheehan 1996)

le che sono per ragioni puramente accidentali o contingenti. Se le condizioni o “cause iniziali” instauratesi nel passato fossero state diverse, l’albero evolutivo da esse prodotto sarebbe stato parimenti diverso; per cui gran parte delle specie a noi note, sia fossili che attuali e con la nostra non esclusa, nonché l’intera rete di interazioni riscontrabili fra di esse e il loro ambiente esterno, oggi potrebbero benissimo non esistere. Gould, ad esempio, ha espresso questa posizione in maniera assai chiara. Purtroppo per i darwinisti, comunque, la realtà non sta affatto in questi termini. Soprattutto negli ultimi decenni, i progressi della genetica e della biologia dello sviluppo hanno messo in piena luce la natura eccessivamente grossolana e semplicistica di questo modo di interpretare le cose¹¹. Tali progressi, infatti, sono consistenti con il darwinismo unicamente per quanto riguarda possibili alterazioni fortuite nelle “cascate geniche” innescate dai geni omeotici (quelli, cioè, che presiedono alla costruzione delle differenti strutture fenotipiche degli organismi); ma ciò non annulla né attenua in alcun modo la realtà del fatto che qualsiasi espressione genica risulti non solamente dalla “linearità” di tali cascate, ma anche e soprattutto dalla “non-linearità” del dinamismo di una rete regolatrice estremamente complessa, la quale coinvolge un gran numero di geni, le proteine da essi codificate e varie altre sostanze, in strettissima dipendenza con l’intera gamma dei “segnali” provenienti dall’ambiente esterno. Ed è appunto questa

realtà a spingere un numero crescente di biologi verso un modello teorico dell’evoluzione nel quale entrano in gioco fattori non soltanto passivamente *selettivi*, ma anche e soprattutto attivamente *cooperativi* e coinvolgenti in modo inscindibile sia gli organismi sia l’ambiente. È ormai chiaro, infatti, che nella cellula vivente esiste qualcosa che agisce come intermediario fra il mondo dei geni (il genoma o genotipo) e il mondo delle proteine (il proteoma o fenotipo), regolando il funzionamento di entrambi. Da più di due decenni Marcello Barbieri ha indicato questo intermediario nel complesso dei ribosomi o *ribotipo* e ne ha fatto il tema conduttore della sua “teoria semantica dell’evoluzione”. Oggi lo stesso autore è capofila di una nuova corrente della biologia, denominata “biosemiotica”, la quale sembra avere tutti i titoli per candidarsi a superare e sostituire la “teoria sintetica” neodarwiniana¹². La tesi di fondo della biosemiotica, le cui radici storiche possono essere fatte risalire in buona parte alla “teoria del significato” (*Bedeutungslehre*) formulata all’inizio del secolo scorso dallo zoologo estone Jakob von Uexküll, è che gli organismi viventi, ben lungi dall’essere semplicemente sistemi fisico-chimici ove si hanno trasformazioni energetico-materiali e immagazzinamenti e trasferimenti di informazione, sono soprattutto sistemi *semiotici*: sistemi, cioè, entro i quali e fra i quali si verificano continuamente passaggi e scambi di informazioni il cui *significato* viene *tradotto* in base a determinati *codici*, dei quali

prima posizione	seconda posizione				terza posizione
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	non	non	A
	Leu	Ser	non	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gin	Arg	A
	Leu	Pro	Gin	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

6. Il codice genetico: gli amminoacidi sono rappresentati nella loro forma abbreviata (ad es. Phe - fenilalanina; Leu - leucina; Arg - arginina ecc.) all'interno del rettangolo centrale, mentre le quattro basi (A - adenina; G - guanina; C - citosina; U - uracile) componenti il codone relativo a ciascun amminoacido sono indicate nei rettangoli a sinistra, in alto e a destra. Ad esempio i codoni per l'asparagina (Asp) sono GAU e GAC; quelli per la serina (Ser), AGU e AGC. I codoni corrispondenti ai tre "non" del rettangolo centrale non codificano alcun amminoacido e funzionano soltanto come "segni di interpunzione". Il codone per la metionina (Met) funziona anche come "lettera maiuscola di inizio" di una successione di amminoacidi

quello genetico universale (fig. 6) deve considerarsi soltanto come il più noto e maggiormente studiato. Ciò è clamoroso, in quanto significa riconoscere ai sistemi viventi una peculiarità che fino alla nascita della bio-semiotica era ritenuta esclusiva della psiche umana, ossia *la capacità di stabilire convenzioni suscettibili di assegnare significati e di fissare codici di traduzione (cioè "linguaggi") per trasmettere tali significati*. È evidente che tale capacità esiste non soltanto nell'uomo e nella sua mente, bensì in tutto il sistema biologico naturale: tanto che Barbieri non esita a presentare l'evoluzione biologica come un fenomeno governato sì anche dalla selezione naturale, ma soprattutto e in primo luogo da "convenzioni naturali".

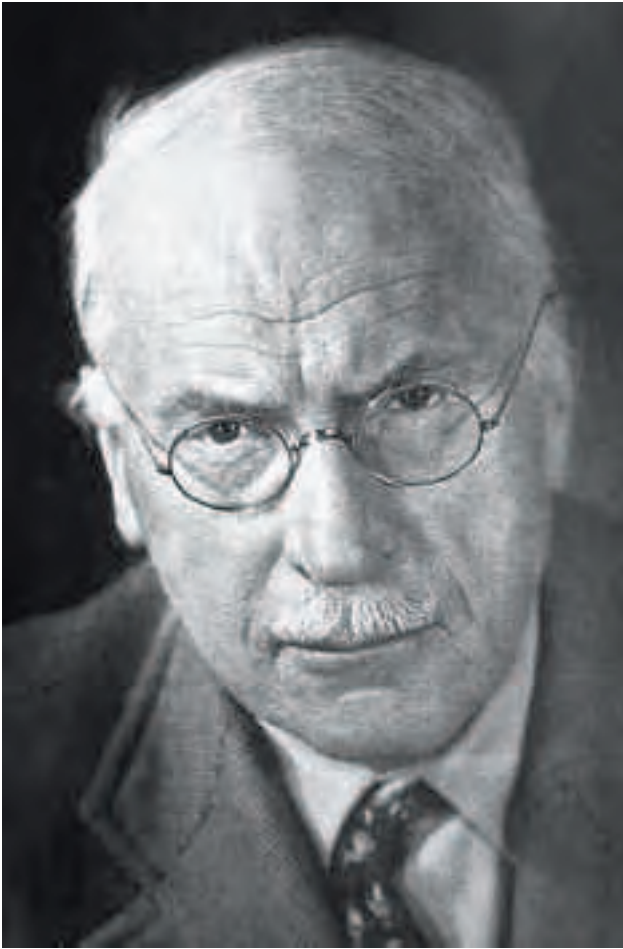
La rivoluzione quantistica e la presa di coscienza del carattere olistico della realtà

A questo punto, poiché il quadro presentatoci dalla documentazione paleontologica è in disaccordo con quello prescritto dal paradigma evolucionistico, se vogliamo sperare di fare un passo avanti nella comprensione dell'evoluzione biologica, dobbiamo rimettere in

discussione la validità di quel paradigma sulla base dell'enorme *corpus* di conoscenze acquisite successivamente al tempo della sua formulazione.

Intanto una cosa è certa e già l'abbiamo fatta notare: *il paradigma riflette in modo evidente, estendendola alla biologia, la visione "classica" della realtà fisica*, le cui fondamenta vennero gettate da Cartesio e da Newton e il cui sviluppo abbracciò interamente i secoli XVIII e XIX. Quella visione dava per scontato che il mondo fisico consistesse di masse materiali separate (a loro volta scomponibili in masse di materia sempre più piccole, fino ad arrivare agli atomi, dal greco "indivisibili") e di flussi d'onda energetici propagantisi e interagenti fra loro nello spazio e nel tempo rispettivamente secondo le leggi della meccanica e dell'elettromagnetismo. Massa, energia, spazio e tempo erano egualmente visti come entità separate, indipendenti e "date" in assoluto. Il divenire del mondo fisico, d'altra parte, era ritenuto consistere di processi caratterizzati dalla località (ciò che avviene in una determinata posizione dello spazio e del tempo non può avere influenza su ciò che avviene in altre posizioni dello spazio e del tempo, a meno che esse non siano immediatamente adiacenti alla prima), dalla diacronicità (gli eventi sono determinati univocamente da cause o eventi posti nel passato) e dalla continuità (il passaggio da uno stato a un altro avviene attraversando tutti gli stadi intermedi a entrambi).

A partire dagli inizi del XX secolo, comunque, questa visione – sebbene a tutt'oggi soltanto una parte molto limitata del pubblico colto ne abbia preso piena consapevolezza – è stata prima fortemente modificata dalle teorie relativistiche e poi demolita in maniera radicale dalla rivoluzione quantistica. Il lettore che voglia comprendere, peraltro in maniera piacevole, in che cosa veramente sia consistita la suddetta rivoluzione, può accedere in internet e seguirvi una nitida conferenza sul tema tenuta da Emilio Del Giudice¹³. Comunque sia, delle tre differenti interpretazioni possibili della fisica quantistica – storicamente riconducibili rispettivamente a Einstein (la realtà fisica non è adeguatamente descritta dalla teoria quantistica, che pertanto dovrà essere soppiantata da una teoria nuova, ma pur sempre rispettosa dei principi di località e di oggettività), a Bohr con la "Scuola di Copenhagen" (la realtà fisica è adeguatamente interpretata dalla teoria quantistica, ma non è suscettibile di descrizione oggettiva) e a David Bohm (la realtà fisica, adeguatamente interpretata dalla teoria quantistica, è suscettibile di descrizione oggettiva, ma non in termini di soli eventi localizzabili nello spazio e nel tempo) – io ritengo, sulla scorta dei fatti messi in evidenza da vari specialisti come lo stesso Del Giudice, che solo la terza sia quella corretta; per cui continuerò le mie argomentazioni mantenendomi nel solco di essa. Proseguirò pertanto affermando che, *a differenza di quello della fisica classica, il mondo della fisica moderna non consiste di oggetti separati, bensì di una rete di cosiddetti "vertici di interazione", cioè eventi interconnessi consistenti solo ed esclusiva-*



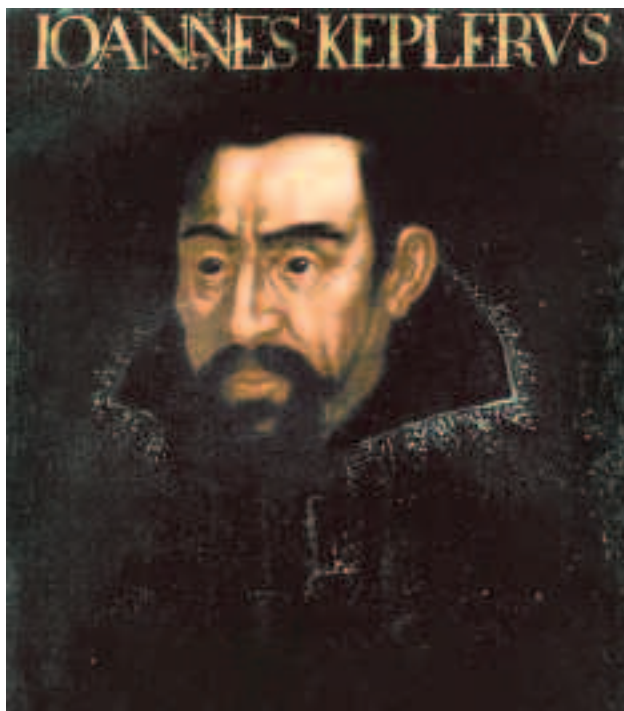
7. Lo psicologo svizzero Carl Gustav Jung (1875-1961; a sinistra) e il fisico austriaco premio Nobel Wolfgang Pauli (1900-1958; a destra), proponenti l'ipotesi archetipale

mente di comparse (o creazioni, o emissioni, o manifestazioni) e di estinzioni (o distruzioni, o assorbimenti, o demanifestazioni) di "pacchetti di qualità": i quanti, appunto (o "particelle", come infelicemente sono spesso definiti).

Ora, mentre nel mondo degli enti macroscopici dell'esperienza quotidiana è del tutto scontato distinguere fra gli enti medesimi e le loro qualità o proprietà di forma, colore, dimensioni ecc. (considerando perciò i primi come "sostanze" facenti da supporto alle seconde viste come "attributi"), nel mondo dei microeventi quantistici gli insiemi di qualità che li descrivono *fanno tutt'uno con essi*: è come se fossero, cioè, altrettante etichette impossibili da separare dai contenitori ai quali sono state affisse e che ne "specificano" il contenuto. E di queste "specificazioni" fanno parte anche (quando ci sono) le determinazioni di tipo spazio-temporale. Insomma, ai corpuscoli e ai campi energetici della fisica sette-ottocentesca – i quali nascono da emettitori localizzati in determinati punti dello spazio-tempo, persistono e si muovono compiendo traiettorie o propagandosi come onde nello spazio-tempo e, finalmente, scompaiono in assorbitori essi pure localizzati nello spazio-tempo – fanno riscontro nella fisica moderna eventi *qualificati da precisi parametri dell'insieme dominio spazio-temporale, ma non svolgentisi in tale dominio.*

Ma allora, se gli "oggetti" della fisica classica altro non sono che fittissime reti interattive di "eventi di emissione-assorbimento", diviene inevitabile domandarsi quale sia la *sorgente* di tali eventi. Nel 2005, con la sua opera *Le strutture archetipali del mondo fisico. Verso una cosmologia sincronica*¹⁴, il fisico teorico Leonardo Chiatti, dell'Università di Roma, ha mostrato come tale sorgente non possa che essere indicata in un elemento della realtà inaccessibile all'osservazione in quanto al di là delle determinazioni spazio-temporali, cioè precedente (in senso logico e non cronologico) a ogni differenziazione e perciò denominabile come "vuoto primevo", "vuoto principiale" o semplicemente "vuoto" senza ulteriori attributi.

La concezione di un vuoto principiale quale fattore olistico di connessione acausale, non-locale (cioè a-spaziale) e "sincronica" (cioè a-temporale) per tutti gli eventi fisici e vero motore immobile per ogni sorta di fenomeno, riconduce in modo diretto sia all'*arché* dei primi filosofi greci, sia alla problematica posta congiuntamente, oltre mezzo secolo fa, dallo psicologo svizzero Carl Gustav Jung (1875-1961) e dal fisico austriaco e premio Nobel Wolfgang Pauli (1900-1958; fig. 7). Poiché la realtà fisica consiste, come si è visto, solo ed esclusivamente di una rete interattiva di eventi di comparsa/estinzione e non c'è assolutamente nulla che



8. Ritratto dell'astronomo tedesco Johannes Kepler (1571-1630), dalla Collezione Gioviana della Galleria degli Uffizi di Firenze

“separi” queste due categorie di eventi, l'unica ipotesi suscettibile di essere sviluppata in modo fecondo che abbiamo a disposizione per spiegare il carattere ordinato e coerente di tale rete continua a rimanere quella degli *archetipi* concepiti come “impulsi ordinatori dinamici” formulata dagli stessi autori. D'altra parte, Jung e Pauli avevano definito appunto con il termine di *sincronicità* il nesso a-causale che caratterizza particolari e sorprendenti intrecci di coincidenze fra determinate “situazioni esterne” e “vissuti interni” di una persona; e poiché tali intrecci, oltre a presentare *a priori* probabilità infime di verificarsi, si presentano densi di *significato* e coinvolgono tanto fenomeni soggettivi di natura psicologica quanto fenomeni oggettivi svolgentisi nello spazio-tempo, si comprende come tutto questo non soltanto non sia affatto in contrasto con il quadro cosmologico precedentemente delineato, ma induca altresì a ipotizzare che il mondo fisico e quello psichico, ben lungi dall'essere realtà separate e indipendenti, siano piuttosto realtà complementari e inscindibili.

Quest'ipotesi non soltanto può essere sottoposta a indagini di tipo scientifico, ma ha anzi trovato solido supporto proprio da parte di indagini di questo tipo. E mi riferisco in particolare alle indagini condotte nell'ambito dell'armonistica.

L'armonistica quale ponte di collegamento tra il mondo fisico e il mondo psichico

Sebbene fino a oggi abbia ricevuto scarsissima attenzione e risulti perciò assai poco nota, l'armonistica è una disciplina scientifica antichissima, la quale ha tro-

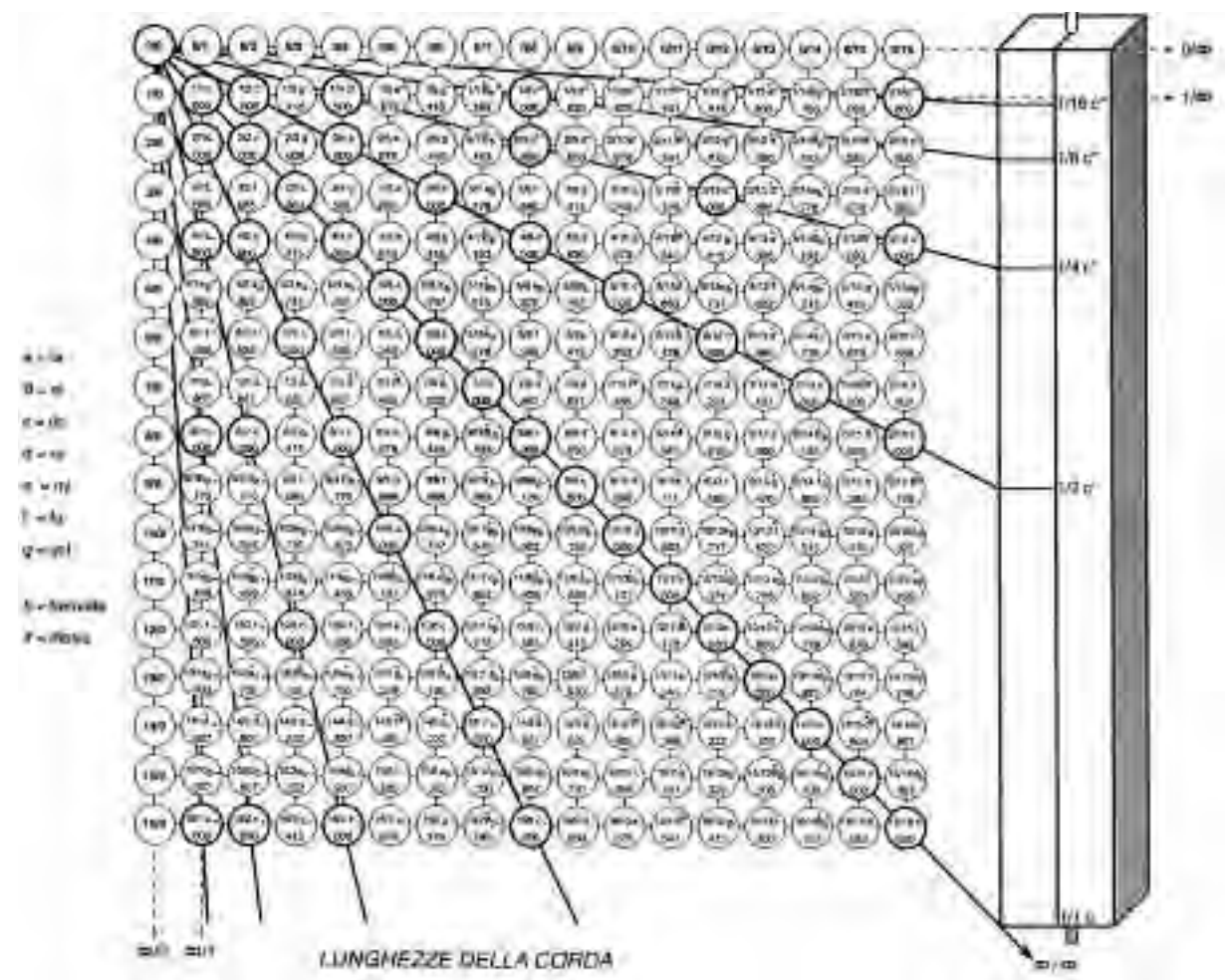
vato espressione ed evoluzione prima nel pensiero greco e successivamente, a distanza di tre secoli l'uno dall'altro, nei contributi di due grandi studiosi tedeschi: Johannes Kepler con i suoi *Harmonices mundi* e Hans Kayser con una serie di testi fondamentali pubblicati durante la prima metà del secolo scorso.

Poiché a questo argomento ho già dedicato un saggio¹⁵, rimando a esso i lettori interessati ad approfondire il tema, limitandomi qui semplicemente a riassumerne i tratti essenziali.

Si deve partire dal monocordo. Si tratta di uno strumento usato fin dalla più remota antichità e consistente semplicemente in una corda tesa tra due perni fissati su una cassa armonica o di risonanza. Sul piano della cassa in cui viene tesa la corda è disposto un cuneo rigido, o ponticello, un po' più alto della corda e in grado di scorrere avanti e indietro al di sotto di questa, in maniera tale da variarne il tratto di lunghezza che si vuole mettere in vibrazione (l'altro tratto va smorzato con un panno o altro mezzo affinché non vibri). Poiché, a seconda della sua posizione, il ponticello stacca dalla corda lunghezze di volta in volta differenti, facendo vibrare queste ultime si ottengono suoni di differente altezza. Più in particolare, si nota che a ogni dimezzamento della corda attiva corrisponde un raddoppio della frequenza vibratoria.

Tramite lo strumento ora descritto, fin dal VI secolo a.C. Pitagora e la sua scuola furono in grado di stabilire non soltanto un numero consistente di regole armoniche, ma anche, operando con un doppio monocordo, quella che è la ricetta-base dell'armonia classica, ossia il fatto – constatabile da ogni essere umano – che due note prodotte simultaneamente generano una sensazione di “naturale gradevolezza” soltanto quando le lunghezze delle corde a esse relative sono in rapporto tra loro come piccoli numeri interi. Se il rapporto è di 1-1/2 si parla di “accordo di ottava” (*diàpason*); se è di 1/2- 1/3, di “accordo di quinta” (*diàpente*); se è di 1/3-1/4, di “accordo di quarta” (*diatèssaron*); se è di 1/4-1/5, di “accordo di terza maggiore”; se è di 1/5-1/6, di “accordo di terza minore”. Ci si accorge, così, che i rapporti di frequenza di tutti gli accordi puri, maggiori e minori, che si trovano all'interno di un'ottava, sono esprimibili attraverso il senario, ovvero la serie di numeri da 1 a 6; e ci si accorge altresì che ogni volta che le frequenze delle oscillazioni sonore non sono rappresentate da questi rapporti semplici si perde la sensazione di armonia e si avverte “disaccordo” o dissonanza. I pitagorici, pertanto, ne concludevano che la creatività della natura si manifestava interamente nell'ambito del senario, mentre il numero 7 significava il riposo o pausa necessari prima di riprendere, con il numero 8, il nuovo ritmo. *Doveva dunque sussistere una coincidenza o complementarità fra le leggi degli accordi musicali e le leggi della psiche.*

Fino agli albori dell'era moderna, l'idea di un ordine universale basato su leggi di natura musicale si mantenne generalmente diffusa tra gli studiosi, i quali vi si rife-



9. Il “lambdoma” neopitagorico riscoperto dal barone Albert von Thimus, completato con il sistema delle coordinate dei toni parziali e illustrato nella sua diretta relazione con il monocordo. I numeri a tre cifre posti al di sotto dei valori tonali (corrispondenti ai logaritmi su base 2 delle lunghezze della corda) rappresentano la distribuzione di tutti i toni nell'ambito di un'ottava tra Do e 1.000, così come noi li udiamo (da *Akròsis* di Kayser)

rirono più volte e con una certa naturalezza, senza però mai avvertire la necessità di approfondirla. L'astronomo tedesco Johannes Kepler (1571-1630; fig. 8) cambiò radicalmente la situazione. Allo stesso modo degli antichi pitagorici, Kepler era profondamente convinto che il mondo fosse un tutto coerente e ordinato secondo criteri di armonia; e poiché di questa “armonia universale” si erano sempre avute soltanto idee molto vaghe e confuse, egli impegnò lunghi e faticosi anni di lavoro a cercarne almeno una prova che fosse oggettivamente verificabile. E alla fine, ormai quasi cinquantenne, riuscì a dimostrare che le orbite dei pianeti erano ellittiche anziché circolari e che le velocità angolari dei singoli pianeti al perielio e all'afelio di tali orbite stavano tra loro in rapporti semplici e interi, corrispondenti con mirabile precisione agli intervalli musicali fondamentali. A partire dal centro del Sole, anzi, l'insieme orbitale dei sei pianeti allora conosciuti veniva a formare, a seconda che si prendesse in considerazione il perielio o l'afelio di Saturno, l'intera scala musicale maggiore o minore; per cui, sovrapponendosi i toni-base dei singo-

li pianeti, ne risultava come un immenso accordo di contrappunto. Pur silenziosamente, insomma, il mondo emetteva la musica impartitagli dal suo Creatore. Esultante, Kepler rivelò al mondo la sua scoperta pubblicando a Linz, nel 1619, gli *Harmonices mundi libri quinque* (*I cinque libri dell'armonistica del mondo*), che segnarono il trionfo e il coronamento dell'opera di tutta la sua vita. Uno studioso odierno che si metta a sfogliare quest'opera, molto più simile a un trattato di teoria musicale che di astronomia, non può che rimanere perplesso; eppure proprio questo ne fa una pietra miliare della storia della scienza: non soltanto perché si tratta della prima teoria armonistica del mondo, ma perché le dimostrazioni di Kepler, nonostante siano trascorsi quasi quattro secoli dalla loro formulazione, nulla hanno perduto della loro sostanziale validità. E ciò malgrado la direzione successivamente imboccata dal pensiero scientifico abbia rapidamente fatto perdere di vista le fatiche di Kepler fino a fraintenderle e addirittura deriderle.

Dopo Kepler, occorre saltare fino alla seconda metà



10. Lo studioso tedesco Hans Kayser (1891-1964), fondatore dell'armonistica moderna (disegno dell'autore)

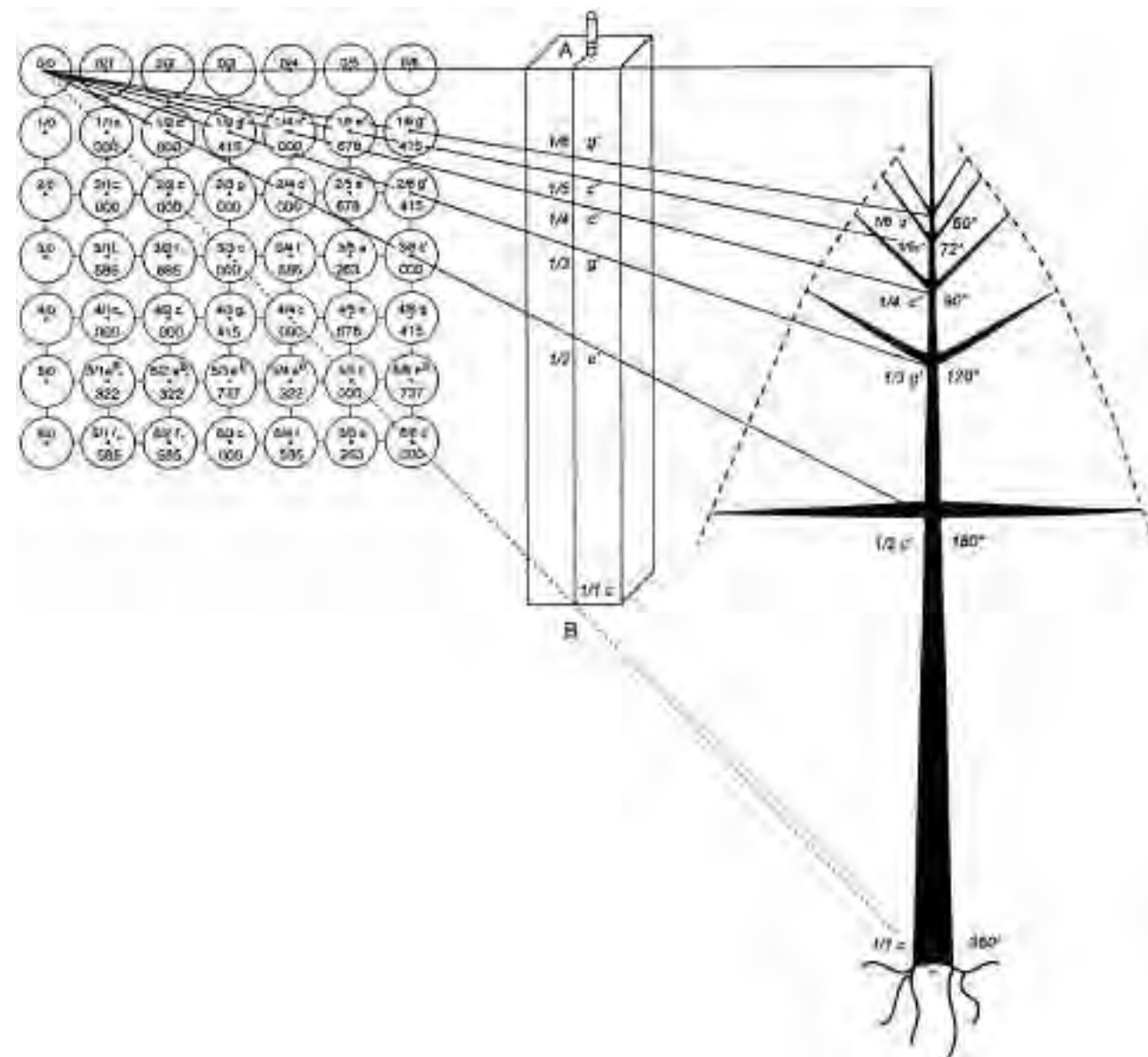
del XIX secolo per registrare un progresso significativo nell'evoluzione dell'armonistica. Nel 1868 e nel 1876, infatti, vennero pubblicati dal barone tedesco Albert von Thimus i due volumi dell'opera *Die harmonikale Symbolik des Altertums* (Il simbolismo armonistico del mondo antico). Von Thimus si era dedicato allo studio delle antiche concezioni pitagoriche, per l'approfondimento delle quali era riuscito a rintracciare importanti fonti letterarie; nel corso delle sue ricerche aveva constatato come i neopitagorici, disponendo delle relazioni, determinate per via sperimentale, tra i differenti suoni e le lunghezze delle corde, fossero giunti alla costruzione di un particolare diagramma, o sistema di coordinate, nel quale tali relazioni erano adeguatamente rappresentate. Per analogia con la lettera greca *lambda*, la cui forma maiuscola evidenziava con il massimo della semplificazione le due coordinate principali del diagramma medesimo, il sistema in questione era chiamato *lambdoma* (fig. 9).

L'opera di von Thimus, con la riscoperta del *lambdoma* neopitagorico, fornì a Hans Kayser (1891-1964; fig. 10), fondatore dell'armonistica moderna, lo strumento di lavoro essenziale per proseguire la ricerca iniziata da Kepler. Tramite una successione di opere di straordinaria importanza – *Urformen der Natur* (Forme primordiali della natura, 1927), *Der hörende Mensch* (L'uomo che ascolta, 1932), *Vom Klang der Welt* (Del suono del mondo, 1937), *Abhandlungen zur Ektypik harmonikaler Wertformen* (Saggi sull'ectipica delle forme dei valori armonistici, 1938), *Grundriß eines Systems der harmonikaler Wertformen* (Compendio sistematico delle forme dei valori armonistici, 1938), *Harmonia plantarum* (1943), *Akróasis: Die Lehre vom Harmonik der Welt* (Akróasis: la teoria dell'armonistica del mondo, 1946), *Lehrbuch der Harmonik* (Trattato di armonistica, 1950) e *Paestum*

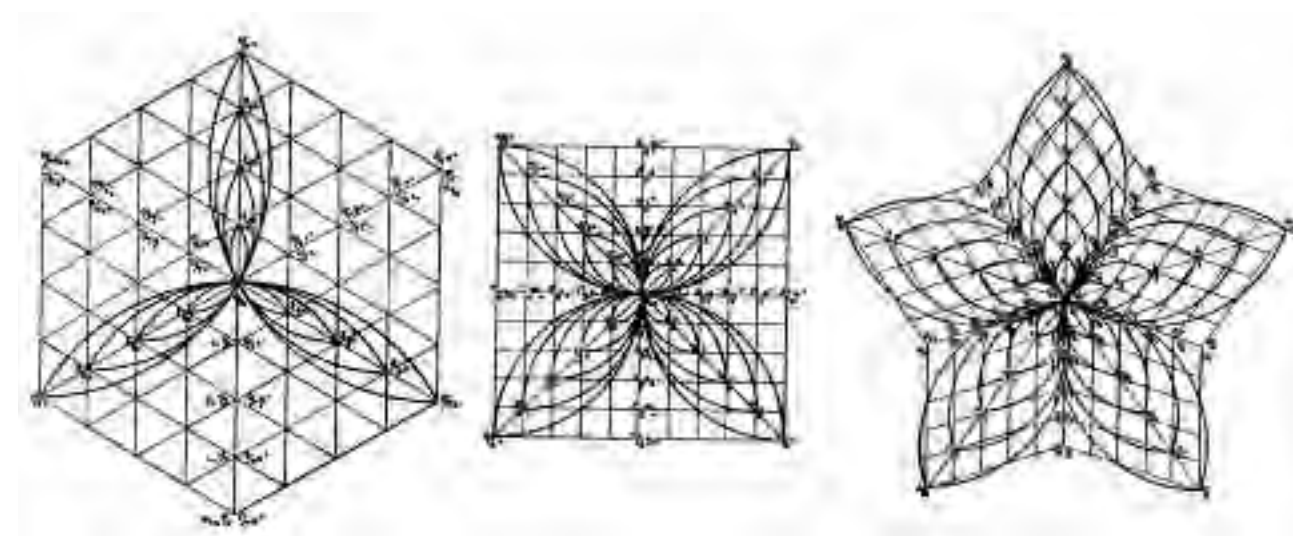
(1958)¹⁶ – Kayser trascorse l'intera vita sottoponendo le differenti manifestazioni naturali alla griglia interpretativa del sistema di coordinate tonali. Egli si spinse nell'atomistica, nella chimica, nell'indagine spettrale, nell'astronomia, nella cristallografia, nella botanica e nell'architettura, trovando dovunque la conferma che a pervadere la Terra e il Cosmo sono sempre rapporti numerici corrispondenti agli accordi musicali fondamentali: rapporti che noi possiamo quindi “udire” e sperimentare. Egli è riuscito, insomma, a far “risuonare” l'intera natura. Se, tanto per fare un esempio, le cifre dei rapporti che dallo studio del monocordo risultano contrassegnare gli accordi musicali (l'ottava, la quinta, la quarta, la terza, ecc.) erano comparate a quelle ricavabili dalle misure proporzionali delle parti di un corpo naturale come un cristallo, una pianta, lo stesso corpo umano o determinate opere architettoniche eseguite dall'uomo quali i templi di Paestum, emergeva una corrispondenza praticamente perfetta dai due insiemi di cifre (figg. 11-12).

Fornendo la dimostrazione che i rapporti interi, corrispondenti agli accordi musicali semplici, costituiscono un fenomeno primigenio di tutta la realtà percepibile dai sensi, Kayser ha così gettato un ponte tra il mondo naturale, o fisico-biologico, e quello archetipico dei livelli più profondi della psiche, e ciò senza sfociare in alcuna evocazione di carattere mistico-sentimentale o costruzione speculativa magari anche razionale ed elegante, ma scientificamente sterile in quanto non dimostrabile. Sulla base di pensieri esatti e di calcoli sempre controllabili, Kayser ha dato la prova che ogni “suono” generato dal mondo non è soltanto un “numero”, ma anche un “valore”. È possibile, cioè, parlare di un “numero tonale” (*Tonzahl*) e di un “valore tonale” (*Tonwert*), dei quali soltanto la stretta e armonica connessione forma il quadro della realtà. Il numero tonale – corrispondente alla frequenza delle vibrazioni relative alla nota considerata – rappresenta l'aspetto naturale misurabile, perciò quantitativo e razionale, del suono; per contro, il valore tonale costituisce l'aspetto apprezzabile a livello psicologico profondo, quindi qualitativo e intuitivo, del suono medesimo: rappresenta, insomma, la valutazione spontanea o “attribuzione di significato” che viene impartita a ogni suono dalla sensibilità interiore dell'uomo, che nell'orecchio ha la sua diretta espressione organica.

L'armonistica, in definitiva, porta al riconoscimento di un *quid* “olistico”, cioè in grado di abbracciare tutti i campi, il quale si esprime nelle semplici leggi numerico-musicali già messe in evidenza dalla tradizione pitagorica e della cui rispondenza in natura Kepler e Kayser hanno fornito per primi la dimostrazione: un *quid* in cui l'uomo, come si è visto, è coinvolto in prima persona quale elemento partecipante imprescindibile. Siamo insomma giunti, se si vuole, a un'ulteriore formulazione di quel “principio antropico” fino a oggi familiare unicamente agli astrofisici.



11. Esempio schematico di corrispondenza tra le proporzioni di un corpo naturale, ad esempio un albero (a destra), e i rapporti di accordo musicale a esse relativi esperibili al monocordo (al centro) e riportati nel “lambdoma” (a sinistra)



12. Esempi di diagrammi armonistici floreali (da *Harmonia plantarum* di Kayser)



13. Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832)

L'evoluzione come processo olistico governato da archetipi

L'esistenza del Vuoto rivelata dalla rivoluzione quantitativa implica che ciascun evento fisico sia collegato in modo sincronico, a-causale e non-locale con tutti gli altri eventi presenti, passati e futuri di qualsiasi luogo. Il Vuoto, in altre parole, agisce come una sorta di elemento connettivo che assicura le interazioni nello spazio e nel tempo fra tutti gli oggetti, rendendoli in qualche modo “olistici” e perciò impedendo che una descrizione fondata unicamente sugli atomi possa descrivere compiutamente la realtà. Ciò vuol dire altresì che qualunque sistema fisico, non esclusa la più semplice particella elementare, risulta essere in realtà un sistema complesso, non indipendente da tutto il resto e pertanto suscettibile di essere descritto solo da teorie e strumenti matematici complessi.

Al livello esistenziale delle nostre usuali esperienze quotidiane, fatte di tanti oggetti separati, il “rumore” delle leggi causali, diacroniche e locali che hanno formato il corpo della fisica classica rende occulta e impercettibile la rete interattiva dei micro-eventi quantistici soggiacenti a ogni fenomeno; non per questo, però, la sincronicità, l'acausalità e la non-località cessano di esistere e di svolgere la loro azione. E quest'azione si manifesta appunto in quell'onnipresente “fattore olistico”, del tutto sconosciuto alla fisica sette-ottocentesca, il quale fa sì che i fenomeni naturali non siano riducibili a mere addizioni di parti, ma denotino appunto, ai più svariati livelli, *unità, organizzazione e autoconsistenza sistemica*.

In biologia e nel resto del mondo naturale questo “fattore olistico” traspare dovunque: lo possiamo constatare negli adattamenti all'ambiente, nei mimetismi,

nelle omologie, nelle analogie, nei rapporti intra/interspecifici e intra/inter-ecosistemici, nei grandi cicli chimici (dell'ossigeno, dell'azoto ecc.), astronomici e galattici. Particolarmente suggestivi nel mondo biologico sono i casi di analogia: adulti e crisalidi di farfalle che assomigliano rispettivamente a coccodrilli e a teste di macaco, dinosauri che assomigliavano a rinoceronti, pterosauri che assomigliavano a pellicani e così via; per cui non è privo di significato che Lima-de-Faria¹⁷, giudicando inconsistenti e intralcianti le tesi neodarwiniane e pur senza proporre alcuna nuova teoria evolutiva alternativa (“al momento – egli scrive – formulare una teoria dell'evoluzione risulta impossibile”), non abbia esitato a dedicare a essi un intero volume, estendendone la portata addirittura al di là dei confini della biologia.

Nell'indagine scientifica del mondo, pertanto, la ricerca dovrebbe dirigersi verso l'obiettivo di distinguere in ogni fenomeno la componente archetipica o “primeva” (caratterizzata dalla sincronicità, dall'acausalità e dalla non-località) dalla componente classica o “secondaria” (risolvibile in processi diacronici, causali e locali). Se non vado errato, era esattamente questo l'obiettivo assegnato da Wolfgang Goethe (1749-1832; fig. 13) alla sua morfologia, votata all'identificazione degli *Urphänomenen* soggiacenti alle collettività “morfiche” dei fenomeni consueti¹⁸. D'altra parte, sempre nell'ambito delle discipline biologiche, gli autori che, seguendo più o meno indipendentemente il solco tracciato dallo zoologo svizzero Adolf Portmann, hanno utilizzato l'ipotesi archetipica di Jung e Pauli come strumento scientifico suscettibile di verifica, non hanno mancato di sottolinearne regolarmente la fecondità¹⁹.

In conclusione, ritengo che l'evoluzione biologica sia da interpretarsi come *un processo olistico governato da archetipi*, intendendo questi ultimi come *impulsi organizzatori della realtà spazio-temporale secondo modelli dinamici a-causali, non-locali e sincronici*.

Ritengo altresì che la scienza, per lo meno allo stato attuale delle cose, più di questo non possa dire. Alla questione, cioè, “in che modo, esattamente, gli impulsi archetipici dal Vuoto giungono a localizzarsi nello spazio-tempo sotto forma di assembramenti collettivi di coerenti e specifici ‘oggetti’, siano essi inanimati o viventi”, mi pare che non sia possibile dare risposta.

Necessità di una ripresa della filosofia naturale

Le riflessioni che precedono sono basate su un decennale convincimento che la scienza non possa consistere unicamente in pura attività sperimentale distaccata da qualsiasi presupposto di natura metafisico-filosofica. Lo si voglia riconoscere o meno, qualsiasi attività conoscitiva richiede obbligatoriamente un determinato presupposto di tale natura; per cui è da ritenersi necessaria, secon-

do me, una ripresa dell'attività filosofica specificamente rivolta alla natura, la quale si affianchi a quella scientifica senza in alcun modo sovrapporsi o sostituirsi a essa.

Questa proposta non deve essere considerata anacronistica. In Occidente, malgrado vi abbia regnato per almeno due millenni – dai filosofi ionici ai *Naturphilosophen* del primo XIX secolo – la filosofia della natura ha cominciato a essere abbandonata a partire dal XVII secolo, allorquando cioè cominciò a diffondersi l'idea che gli enti naturali non erano una complementarità di “materia” e “forma” nel senso aristotelico, ma soltanto “materia”. Il risultato di ciò fu la spaccatura cartesiana della realtà in due parti separate: la *res extensa* costituente la natura e la *res cogitans* costituente la mente e il pensiero. La scienza naturale si appropriò del dominio della *physis* e la filosofia di quello della *psyché*; dopodiché le due discipline procedettero ciascuna per proprio conto. Quello che alla filosofia rimase fu soltanto la ricerca logica ed epistemologica, che però

Note

¹ E. Pennetta, *Inchiesta sul darwinismo. Come si costruisce una teoria*, Cantagalli, Siena 2011.

² A *Scientific Critique of Evolution*, a cura di P. Rabishong, E. Scoppa, atti del convegno (Dipartimento di Neurologia e Otorinolaringoiatria - Sezione di Neurologia, Università Sapienza di Roma, 3 novembre 2008), Roma 2009.

³ R. de Mattei (a cura di), *Evoluzionismo: il tramonto di un'ipotesi*, Cantagalli, Siena 2009.

⁴ Lascio un po' sfumati i limiti fra specie e genere in quanto non va dimenticato che il problema di come definire in maniera univoca l'unità tassonomica fondamentale, cioè la specie, non è stato ancora risolto.

⁵ Dico “per lo più” in quanto possono aversi eccezioni, come nel caso delle faune insulari. Nel corso di tutto il Pleistocene, ad esempio, nell'arcipelago delle Baleari il caprino *Myotragus* subì cambiamenti differenti e più o meno notevoli da un'isola all'altra, con perdite di alcuni elementi dentari e concomitante e abnorme sviluppo di altri.

⁶ Mi sembra particolarmente eloquente il caso del paleontologo statunitense Niles Eldredge, che nel suo libro del 1995 *Reinventing Darwin* (ed. it. *Ripensare Darwin*, Einaudi, Torino 1999) così commentava la vicenda intellettuale del suo illustre collega e connazionale George Gaylord Simpson, dapprima difensore della tesi non ortodossa di un evolucionismo “quantistico” e poi capitolato di fronte alle reazioni dei seguaci darwinisti della “teoria sintetica”: “Nel 1953, in *The Major Features of Evolution*, Simpson non ebbe la minima esitazione ad attribuire tutti i fenomeni evolutivi – le ‘caratteristiche principali’ dell'evoluzione – direttamente ed esclusivamente all'azione della selezione naturale, senza i se e i ma che comparivano numerosi nel precedente lavoro [cioè *Tempo and Mode in Evolution*, nda]. Per me paleontologo naturalista, la capitolazione di Simpson è l'aspetto della ‘solidificazione’ della sintesi più difficile da accettare. Qual è il motivo di tale impeto verso il consenso?”. A distanza di dieci anni, a stupire e a rendere perplessi sono soltanto lo stupore e la perplessità di Eldredge, considerato l'impegno (si veda, ad esempio, il suo libro *Darwin. Discovering the Tree of Life*, ed. it. *Darwin. Alla scoperta dell'albero della vita*, Codice Edizioni, Torino 2006) con cui si è messo a incensare Darwin e a insistere nel reclamarne l'eredità intellettuale di contro ai darwiniani anche più fanati-

non ha come oggetto *la natura*, bensì soltanto il *modo di conoscere* la natura: non a caso, infatti, essa viene chiamata “filosofia della scienza”.

È stato dunque il diffondersi di determinati presupposti metafisico-filosofici relativi alla natura della materia che ha portato ad abbandonare la filosofia della natura. Eppure il compito di questa dovrebbe essere proprio quello di *valutare criticamente ogni sorta di presupposto metafisico-filosofico riguardante la natura*: valutazione che – sembra perfino superfluo farlo notare – esula completamente dalla portata dei metodi empirici connaturati alla prassi dell'indagine scientifica.

Il non voler riconoscere l'importanza fondamentale di una filosofia della natura ha condotto non pochi scienziati ad assumere che “la nature n'a pas besoin de philosophes” e a ritenere che essa debba rimanere un oggetto di studio riservato solo ed esclusivamente a loro. Ma su questo, come nel mio caso, si può non essere d'accordo.

ci. In questo, d'altra parte, egli non ha fatto che imitare il comportamento del suo scomparso collega e amico Gould. Anche questi due eminenti paleontologi, insomma, dopo aver messo in imbarazzo il *politically correct* con la loro “teoria degli equilibri puntuali”, hanno finito per capitolare di fronte a esso esattamente come Simpson.

⁷ O.H. Schindewolf, *Grundfragen der Paläontologie*. Schweizerbart, Stuttgart 1950 (ed. ingl. *Basic Questions in Paleontology*, The University of Chicago Press, Chicago-London 1993).

⁸ N. Eldredge, S. J. Gould, *Punctuated Equilibria: an Alternative to Phyletic Gradualism*, in T.J.M. Schopf (a cura di), *Models in Paleobiology*, 82-115, Freeman Cooper, San Francisco 1972.

⁹ C.E. Brett, G.C. Baird, *Coordinated Stasis and Evolutionary Ecology of Silurian-Devonian Faunas in the Appalachian Basin*, in D.H. Erwin, R.L. Anstey (a cura di), *New Approaches to Speciation in the Fossil Record*, Columbia University Press, New York 1995, pp. 285-315. Si vedano anche C.E. Brett, L.C. Ivany, K.M. Schopf, 1996. *Coordinated Stasis: An Overview*, in L.C. Ivany, K.M. Schopf (a cura di), *New Perspectives on Faunal Stability in the Fossil Record*, in “Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol.”, Spec. Issue, 127, 1996, pp. 1-20; P.M. Sheehan, *A New Look at Ecologic Evolutionary Units (EEUs)*, in L.C. Ivany, K.M. Schopf (a cura di), *New Perspectives on Faunal Stability in the Fossil Record*, in “Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol.”, Spec. Issue, 127, 1996, pp. 21-32.

¹⁰ R. Fondi, *Il lato nascosto di Darwin*, in “Etrurianatura”, VI, 2009, pp. 20-38.

¹¹ Cfr. M. Sarà, *L'evoluzione costruttiva. I fattori d'interazione, cooperazione e organizzazione*, Utet, Torino 2005; M. Piattelli Palmarini, J. Fodor, *What Darwin Got Wrong* (ed. it. *Gli errori di Darwin*, Feltrinelli, Milano 2010).

¹² Si vedano M. Barbieri, *I codici organici. La nascita della biologia semantica*, Pequod, Ancona 2000 (ed. ingl. *The Organic Codes. An Introduction to Semantic Biology*, Cambridge University Press, Cambridge 2003); M. Barbieri (a cura di), *Introduction to Biosemiotics. The New Biological Synthesis*, Springer, Dordrecht 2007; *Biosemiotics: a New Understanding of Life*, in D. Favareau (a cura di), *Essential Readings in Biosemiotics. Anthology and Commentary*, Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York 2010, pp. 751-795.

¹³ www.youtube.com/watch?v=UsqyRrttMTs&feature=related.

¹⁴ L. Chiatti, *Le strutture archetipali del mondo fisico. Verso una cosmologia sincronica*, Di Renzo, Roma 2005.

¹⁵ R. Fondi, *Armonistica: un ponte di collegamento tra la natura e la psiche, sponde complementari della realtà*, in “Il Divano Morfológico/Magazine of Morphology”, 3, 2000, pp. 59-89. Il saggio è reperibile anche in internet (www.esonet.it/modules.php?name=News&new_topic=30), seppure con alcuni difetti presenti nel suo corredo illustrativo.

¹⁶ Soltanto due di queste opere sono state tradotte in italiano: il fondamentale *Lehrbuch der Harmonik* (*Manuale di armonica*, a cura di Maria Franca Frola, pubblicato a Milano separatamente in cinque “quaderni” da Fonte Editore tra il 1998 e il 2001; interamente reperibile anche in internet nel sito www.esonet.it/News-file-article-sid-1116.html) e *Paestum* (sempre a cura di Maria Franca Frola, Semar, Roma 2008).

¹⁷ A. Lima-de-Faria, *Evolution without Selection. Form and Function by Autoevolution*, Elsevier, Amsterdam-New York-Oxford 1988 (ed. it. *Evoluzione senza selezione. Autoevoluzione di forma e funzione*, Nova Scripta Edizioni, Genova 2003).

¹⁸ È interessantissimo che Nietzsche abbia perfettamente intuito l'importanza della visione del mondo di Goethe, contrapponendola a quella degli evoluzionisti. Un suo pungente *Gedicht* del

1884, infatti, recitava così: “Questi bravi Inglesi / mediocri intenditori / voi li prendete per ‘filosofia’. / Mettere Darwin accanto a Goethe / vuol dire: offendere la maestà / - majestatem genii. // Salve a voi, bravi carrettieri, / sempre ‘quanto più lungo, tanto più caro’, / sempre più anchilosati di testa e di ginocchio, / senza entusiasmo, senza umorismo, / indistruttibilmente mediocri, / sans génie et sans esprit!”.

¹⁹ Di A. Portmann: *Die Tiergestalt*, Reinhardt, Basel 1948 (ed. it. *Le forme degli animali*, Feltrinelli, Milano 1961); *Das Tier als soziales Wesen*, Rhein-Verlag, Zürich 1953 (ed. ingl. *Animals as Social Beings*, Hutchinson, London 1961); *Aufbruch der Lebensforschung*, Rhein-Verlag, Zürich 1965 (ed. it. *Le forme viventi*, Adelphi, Milano 1969). Si vedano anche L. Hammen, *Type concept, higher classification and evolution*, in “Acta Biotheor.”, 30 (1), 1981, pp. 3-48; A. Stevens, *Archetypes: a Natural History of the Self*, Routledge & Kegan, London 1982; H.-J. Etter, *L'évolution en tant que continu synchronistique*, in H. Reeves, M. Cazenave, P. Solié et al., *La synchronicité, l'âme et la science*, Poiesis, Paris 1984, pp. 121-157; B.A. Young, *On the Necessity of an Archetypal Concept in Morphology. With Special Reference to the Concepts of “Structure” and “Homology”*, in “Biology and Philosophy”, 8 (2), 1993, pp. 225-248.

Orizzonti



Isola d'Elba, falesie della costa occidentale
(foto "Il Graffio", Follonica)

Un progetto per l'Isola di Pianosa

Alessandra Contiero, Fausto Foresi, Luca Maria Foresi, Giuseppe Mazzei Braschi, Alessandro Olschki*, Paolo Notarbartolo di Sciara, Gianpaolo Spinelli

Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa Onlus - www.associazionepianosa.it

È proposto un progetto per rivitalizzare tutte le potenzialità naturali, storico-culturali e sociali di questo importante elemento del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, da molto tempo in avanzato e penosissimo stato di degrado. Oltre alle sue intrinseche possibilità risolutive, il progetto vuole soprattutto contribuire a innescare uno spirito di unione e collaborazione fra gli enti locali e nazionali preposti alla gestione dell'isola, i quali al momento sembrano mostrare solo preoccupanti aspetti conflittuali.

Introduzione

Sebbene siano tutte affascinanti, le isole del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano rappresentano patrimoni naturali, storici e culturali molto differenti, per cui è assai difficile disegnare un progetto che punti a salvaguardarle e a valorizzarle tutte insieme senza mortificarne le peculiarità individuali. Pianosa è l'unica ad aver bisogno urgente di un progetto che ne ristabilisca gli equilibri, perduti ormai da molti anni. Essa non può essere “abbandonata a sé stessa” come Montecristo, che proprio di questo fa la sua ricchezza: un'isola misteriosa, una montagna in mezzo al mare da sempre disabitata. Pianosa ha un passato ricco di storia e reca ben marcati i segni lasciati dall'uomo, come i numerosi siti archeologici e le emergenze di epoca romana con le catacombe più grandi a nord di Roma. Il suo passato recente, anche se carcerario, pure ha prodotto strutture d'indubbio pregio architettonico e un porticciolo splendido, che il navigatore Mauro Mancini definì “il più bello del mondo”. Nonostante i forti squilibri sopra descritti, alcuni tratti litoranei di macchia mediterranea e il mare sono eccezionalmente ricchi di vita. I fondali, poi, sono arricchiti da antichi reperti e relitti, adagiati a profondità non elevate. Queste bellezze devono essere mantenute, affinché accompagnino il nostro futuro e i visitatori interessati possano goderne e arricchirsene culturalmente. Pianosa, da sempre abitata e interamente di proprietà pubblica, è un luogo dove uomo e natura possono coesistere e integrarsi con vantaggi per entrambi. Si tratta di un'occasione unica, che necessita di uno sforzo comune fra amministrazioni locali e nazionali, che deve fondarsi su un obiettivo condiviso da perseguire con impegno e costanza. È con questo proposito che l'Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa Onlus espone un proprio progetto, come già fece in passato, con la speranza che esso costituisca la base comune di un futuro operoso.

La situazione

Pianosa è una piccola isola dell'Arcipelago Toscano (fig. 1) di cui questa rivista si è già occupata due volte, mettendone in luce le peculiarità naturalistiche, geologiche e storico-archeologiche (per i riferimenti bibliografici relativi a tali peculiarità si rimanda ai numeri 2 del 2005 e 5 del 2008 di “Etrurianatura”). Se dal 1997 l'isola è parte integrante del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, precedentemente a questa data, e per 140 anni, essa ha costantemente avuto una destinazione carceraria. Se ne deduce che, in epoca moderna, Pianosa ha sempre vissuto una presenza umana contingentata e controllata. Questo non sempre ha coinciso con una pressione antropica limitata. L'intenso sfruttamento agro-pastorale del territorio e le opere carcerarie raramente hanno proceduto nel rispetto dell'ambiente, inteso come sistema complesso di natura e attività umane.

Il carcere ha chiuso nel 1998 e da quella data l'isola vive un profondo e progressivo stato di abbandono e degrado che coinvolge soprattutto il patrimonio architettonico. Le abitazioni civili e quelle che erano destinate a detenzione e servizi sono quasi tutte fatiscenti, eccettuate le pochissime ancora in uso (quest'inverno le presenze costanti sull'isola erano di sei persone: due agenti di polizia penitenziaria e quattro detenuti) per gran parte al limite dell'abitabilità. Questo degrado, in ogni caso, coinvolge ogni struttura. Molti dei caratteristici muri a secco sono crollati e pochi sono quelli rimasti integri, gli impianti funzionali sono compromessi e poco o nulla funzionanti; ci si riferisce all'acquedotto e a tutta la rete idrica, al sistema fognario, all'illuminazione pubblica (ormai scomparsa). Anche il livello igienico-sanitario è critico: la raccolta dei rifiuti viene fatta in modo sporadico. Nonostante in primavera-estate vi sia un'assidua presenza giornaliera di visitatori, non ci sono bagni e servizi pubblici adeguati, i ratti sono



1. Ripresa aerea dell'Isola di Pianosa con l'Elba sullo sfondo (foto G.A. Rossi - Agenzia TIPS Milano)

numerosissimi e dominano ormai molti ambienti, mentre le zecche infestano gran parte del territorio e, da qualche anno, anche il paese e la spiaggia.

La situazione naturalistico/ambientale mostra un equilibrio solo apparente, tenuto nascosto da alcuni con l'affermazione “la natura sta riprendendo possesso dell'isola”. Non è proprio così. La vocazione agro-pastorale ha fatto sì che tutto il territorio fosse destinato a questi scopi già in epoca storica e solo una stretta fascia di macchia mediterranea caratterizza il perimetro costiero, peraltro “inquinato” da numerose piantumazioni a pini solo di recente poste sotto controllo. In realtà non esiste un ambiente naturale, ma solo un territorio privo di una sua identità, fatto di campi infestati da altre erbe, per i quali non è mai stata pianificata un'attività di recupero forestale. Gli animali – fra i più presenti pernici e fagiani – sono in gran parte inseriti. Tutti squilibri che spesso ne generano altri, come ha dimostrato la recente “invasione” di cornacchie, uccelli praticamente sconosciuti nell'isola fino a tre anni fa.

Dacché il carcere è stato chiuso, il mare per alcuni tratti è veramente “rinato”. Comunque sono molti i casi di pesca di frodo, registrati soprattutto nei periodi invernali, cioè quando il controllo è limitato o addirittura assente. Per aumentare la vigilanza, nel luglio 2009 è stato installato un radar a controllo remoto in un'area rilevata del paese. Raramente ha funzionato con regolarità.

Carta d'identità dell'Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa

L'Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa fu fondata il 12 aprile 1995 da una trentina di pianosini (fig. 2). A quel tempo l'isola era un carcere di massima sicurezza e i soci fondatori pensarono che riunirsi in associazione potesse favorirne l'iter di accesso all'isola. Allora quei nativi pianosini non potevano recarsi liberamente nella loro isola, e un accesso senza particolari



2. Alcuni dei soci fondatori dell'Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa il giorno in cui fu creato il sodalizio



3. Spianate d'erosione marina lungo la costa a Sud dell'insenatura denominata Porto Romano, sul versante nord-occidentale dell'isola

impedimenti continua a costituire ancora oggi un obiettivo non raggiunto; comunque sia, molto presto, in particolare dopo la chiusura del carcere, gli scopi e le attività dell'Associazione si diversificarono nel tentativo di contribuire alla tutela e alla valorizzazione del territorio isolano e del mare circostante. Questo cambiamento fu anche accompagnato da un progressivo incremento del numero dei soci, che attualmente sono circa cinquecento.

Per non perdere la memoria storica di questo territorio (uno degli effetti dell'abbandono), per farlo conoscere e per sensibilizzarvi l'opinione pubblica, l'Associazione ha riunito in un unico archivio i "ricordi" di tutti i pianosini e ha organizzato con essi mostre fotografiche, progressivamente arricchite con documenti, carte, ricerche e oggetti testimonianti i tanti aspetti interessanti dell'isola. Le prime mostre si svolsero all'Elba e a Livorno. Nel 1999, unitamente alla prima apertura turistica, la mostra fu trasferita permanentemente a Pianosa e ancora oggi accoglie gratuitamente i visitatori nella ex direzione del carcere, dove questi possono ammirare *Pianosa com'era* in varie sale espositive. Contestualmente alla mostra, l'Associazione gestisce una biblioteca/sala lettura con oltre quattrocento testi riguardanti Pianosa e l'Arcipelago Toscano, molti dei quali consistenti in copie reperite da numerose biblioteche o in volumi donati da enti pubblici. L'Associazione, infatti, è anche impegnata nella raccolta e nell'acquisto di testi, carte e documenti originali.

Il copioso materiale finora raccolto (il patrimonio fotografico dell'Associazione è composto da circa 1200 immagini catalogate, di cui molte di interesse storico) ha dato la possibilità all'Associazione di essere presente con numerosi articoli su riviste e giornali, nonché di pubblicare libri il cui ricavato viene investito per il raggiungimento degli scopi sociali. Molti sono i soggetti con i quali sono state stabilite e sviluppate collaborazioni: enti pubblici e di ricerca, scrittori, giornali, tv pubbliche e private. Molto materiale, anche intellettuale, è stato fornito per tesi di laurea e programmi didattici a vari livelli e numerose sono state le escursioni scolastiche guidate dai soci. L'Associazione, inoltre, ha offerto la propria disponibilità in caso di calamità ambientali e ha operato su questo fronte in casi come la pulizia del litorale dalla marea di catrame del 2002.

Sin dalla sua istituzione l'Associazione, oggi riconosciuta come Onlus, è impegnata a tenere rapporti con enti locali e nazionali per assicurare a Pianosa un futuro, con l'obiettivo non soltanto di tutelarne l'ambiente, ma anche di farla rivivere, sì da vederla ancora una volta abitata e curata come in passato. Come esempio tangibile di questa volontà di rinascita è stata eseguita, superando molte difficoltà burocratiche, la ristrutturazione di due piccoli edifici molto caratteristici e significativi: la cappella e la saletta mortuaria del cimitero dei civili. Progetto ed esecuzione sono stati curati e finanziati dai soci, con piccoli contributi da parte di altri soggetti. Si è trattato di una prima esperienza, cui



4. Un "nido" di fossili nella Formazione di Pianosa presso Punta Libeccio

l'Associazione intende farne seguire altre analoghe e che vuole essere di buon auspicio per un futuro impegno collettivo nella valorizzazione e nel recupero dell'isola.

Un patrimonio a cielo aperto

LA GEOLOGIA

Luca Maria Foresi

Poiché un'esposizione dettagliata della geologia di Pianosa è reperibile in Foresi *et al.* (2008), in questa sede sarà sufficiente fornirne una trattazione concisa.

L'isola è interamente costituita da rocce sedimentarie neogenico-quadernarie, estese cronologicamente dal Miocene inferiore (Formazione di Marina del Marchese) al Pleistocene superiore ("Panchina" tirreniana) e tutte interessanti dal punto di vista delle ricostruzioni geodinamiche e paleogeografiche del Tirreno settentrionale. Le più antiche sono di età Burdigaliana (circa 18 Ma) e affiorano dagli Archi al Golfo della Botte, sul versante occidentale dell'isola. Particolarmente suggestivo è il loro contatto con la soprastante Formazione di Pianosa, che mette in risalto una marcata discordanza angolare fra le due unità. Sulla Formazione di Marina del Marchese giace anche la Formazione di Golfo della Botte, di età Tortonian superiore / Messiniano inferiore (8-7 Ma), la quale rappresenta una deposizione in ambiente lacustre o lagunare che si estendeva anche in gran parte della Toscana meridionale. Ai depositi del Messiniano seguono quelli della Formazione di Pianosa, di età Pliocene medio / Pleistocene inferiore (3-1,5 Ma), che con i loro circa 30 metri di spessore costituiscono quasi per intero la porzione emersa dell'isola. Questa formazione, costituita da calcareniti, è particolarmente interessante per il contenuto fossilifero che rende alcuni affioramenti molto suggestivi (fig. 4). Egualmente suggestivi sono gli affioramenti di panchina tirreniana ubicati presso il cimitero dei civili, costituenti una vera e propria "lumachella".

Altrettanto notevoli in Pianosa sono le emergenze geo-



5. Ceramica impressa rinvenuta negli scavi di Cala Giovanna (foto prof. C. Tozzi, Università di Pisa)

morfologiche, essendo l'isola interessata soprattutto da due agenti: quello marino e quello carsico. Il primo modella le coste, incidendole profondamente o spianandole in maniera estesa (fig. 3), sulle spianate, riconoscibili a varie quote, si aprono enormi marmitte con ancora all'interno i ciottoli che, con il loro movimento circolare, le hanno generate. Il fenomeno carsico, oltre a modellare le rocce in superficie, si sviluppa anche in modo endogeno, scavando cunicoli e grotte. Queste ultime sono talora rivestite di fantastiche concrezioni calcaree, talaltra riempite di sedimenti rossastri ricchi di resti di vertebrati attualmente non più presenti sull'isola e perciò testimoniando un collegamento di questa con la terraferma in un passato non molto lontano (circa 18.000 anni fa).

L'ARCHEOLOGIA

Gianpaolo Spinelli

Ricca, e di notevole importanza, è il patrimonio archeologico di Pianosa. Le prime testimonianze della presenza dell'uomo nell'isola risalgono a oltre 13.000 anni fa, cioè alla fase finale del Paleolitico superiore, allorché – si era ancora in epoca glaciale e perciò il livello del mare era notevolmente più basso di quello odierno – Pianosa e l'Elba erano collegate dalla terraferma. Si tratta di industria litica, raccolta nella grotta di Cala Giovanna da uno dei fondatori della paleontologia italiana, che visitò l'isola nel 1874 e nel 1875 e ne indagò e descrisse l'archeologia: don Gaetano Chierici.

Scavi e ricerche condotte a partire dagli anni ottanta del secolo scorso hanno riportato alla luce due insediamenti del primo Neolitico. Essi sono riferibili alla Cultura della Ceramica Impressa e risalgono al VI millennio a.C., allorché la rivoluzione neolitica, portata da navigatori provenienti dall'Oriente, raggiunse anche il Mediterraneo occidentale. Fortemente legate al mare, le popolazioni caratterizzate da tale cultura decoravano la loro ceramica con impressioni eseguite utilizzando il bordo di conchiglie del genere *Cardium* (fig. 5). A



6. Resti della villa romana presso la pineta di Cala San Giovanni; gli scavi della Soprintendenza Archeologica della Toscana sono ancora in corso



7. Sepolture all'interno della catacomba; esauriti gli spazi laterali, i loculi furono scavati anche a terra

Pianosa l'insediamento più antico è nell'isolotto de La Scola, che allora era unito all'isola principale; quando l'isolotto divenne isolato a causa della risalita del livello marino, l'insediamento si spostò nella vicina caverna di Cala Giovanna. È a partire da tale momento che il territorio isolano venne utilizzato per l'agricoltura e la pastorizia, le quali sono poi proseguite fino ai nostri giorni: una realtà di cui va tenuto conto nei programmi di conservazione ambientale del parco.

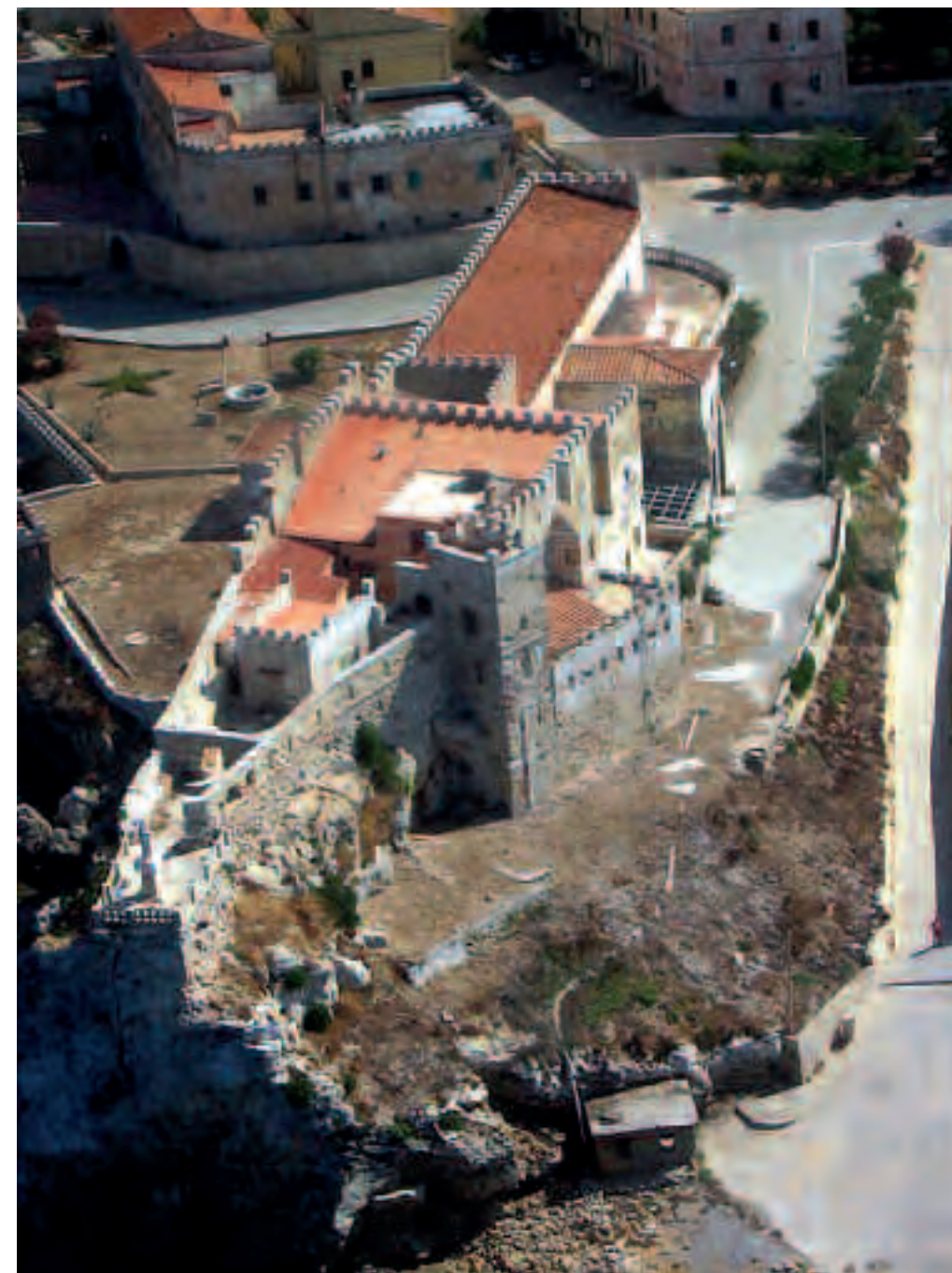
All'età del Rame, del III millennio a.C., è riferibile una serie di tombe a grotticella con pozzetto d'ingresso tipiche della Cultura di Rinaldone. Le tombe sono scavate nel calcare in località Poggio del Belvedere.

All'età del Bronzo, invece, risalgono numerose sepolture in grotta e un piccolo insediamento della Cultura Appenninica sulla punta del Segnale: forse

un posto di guardia realizzato per controllare eventuali sbarchi da sud.

Consistenti sono i monumenti e le testimonianze di età romana: dall'imponente villa del I secolo a.C. alle tracce di installazioni portuali e di peschiere attorno al porticciolo attuale e a nord di questo, nell'insenatura denominata appunto Porto Romano, fino alle catacombe del III e IV secolo d.C. La parte forse più monumentale della villa, cioè quella dei cosiddetti Bagni di Agrippa, fu scavata da Chierici alla fine del XIX secolo, mentre la parte abitativa sta ora venendo alla luce sotto la pineta antistante la spiaggia di Cala San Giovanni (fig. 6). In questa villa si svolse la cupa vicenda di Agrippa Postumo, nipote di Augusto, relegato a Pianosa nel 7 d.C. e ucciso subito dopo la morte di Augusto nel 14 d.C., probabilmente perché avversario e ostacolo all'ascesa al potere di Tiberio.

8. Forte Teglia: struttura fatta edificare da Napoleone durante il suo esilio elbano, a difesa del porto



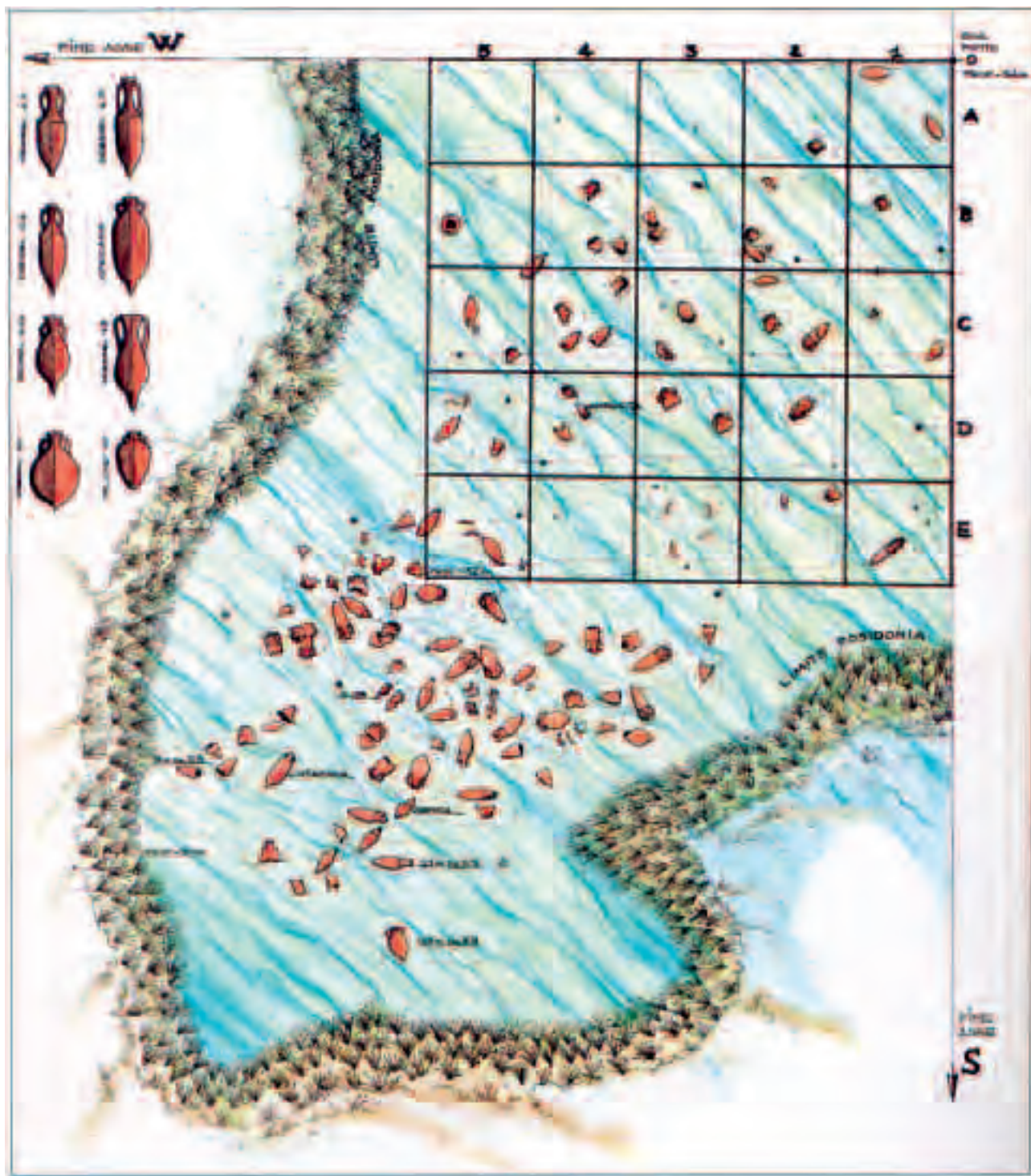
Le catacombe del IV e V secolo (fig. 7) sono particolarmente interessanti in quanto unico esempio di cimitero di questo tipo sulle isole. Esse sono state recentemente restaurate e rese visitabili dalla Pontificia Commissione di Archeologia Sacra.

Pianosa è stata abitata per tutto il Medioevo, ma di questo intervallo storico rimangono soltanto le tracce di riuso degli edifici romani e un'area cimiteriale. Nel paese attuale non vi sono strutture medioevali in quanto l'isola, essendo pianeggiante e priva di difese naturali, fu spesso soggetta a saccheggi e distruzioni, contesa fra gli Appiani (signori di Piombino), i Pisani e i Genovesi. L'episodio più grave fu, nel 1553, lo sbarco dei pirati barbareschi di Dragut, i quali rasero al suolo il villaggio e fecero prigionieri gli abitanti. Da quel momento l'isola fu sfruttata soprattutto dalle comunità

elbane, che vi coltivavano grano e vi tenevano animali al pascolo senza però abitarvi stabilmente.

Le numerose iniziative miranti a rivitalizzare l'economia di Pianosa e a crearvi una comunità stabile ebbero scarso successo. Napoleone, durante la sua permanenza all'Elba, ideò il Forte Teglia (fig. 8) sovrastante il porticciolo e formulò ambiziosi progetti, che però rimasero sulla carta. Sempre nell'Ottocento vari tentativi di sviluppare attività agricole furono effettuati da imprese private, e di ciò restano alcune costruzioni quali la Specola e alcuni filari di gelsi, piantati allora per sviluppare la sericoltura o allevamento dei bachi da seta. Una ripopolazione definitiva, in ogni caso, si realizzò unicamente in seguito alla creazione della colonia penale agricola.

La ricchezza del patrimonio archeologico di Pianosa, in parte ancora da scoprire, ha spinto molto opportuna-



9. Rilievo archeologico subacqueo eseguito dall'architetto Claudio Ruffilli sul cimitero di anfore del relitto della Scola

mente la Soprintendenza Archeologica per la Toscana a vincolare l'intero territorio dell'isola; ma la tutela non può bastare, occorrono anche interventi di conservazione e restauro, di possibilità di studio e di fruizione da parte dei visitatori. Solo azioni concordate da parte dei vari enti che si occupano di Pianosa, e che purtroppo attualmente si ostacolano a vicenda, possono portare a risultati positivi. La conservazione e il restauro dei monumenti riportati alla luce necessita di interventi continui e costosi, e una prova eloquente di ciò viene data proprio dallo stato in cui si trova la villa di

Agrippa, ubicata in riva al mare. Dopo lo scavo, essa rimase esposta a spoliazioni vandaliche, per cui nel 1986 fu oggetto di restauro da parte della Soprintendenza; ma ora le strutture sono divenute nuovamente invisibili in quanto coperte dalla vegetazione e lasciate soggette senza protezioni all'azione corrosiva del salmastro e del vento. Scavi e ricerche da parte di istituzioni scientifiche sono ostacolati da difficoltà logistiche e intralci burocratici, e la visita guidata alle aree archeologiche è resa difficoltosa dalla mancanza di sentieri di accesso.

L'ARCHEOLOGIA SUBACQUEA
Paolo Notarbartolo di Sciara

L'Isola di Pianosa possiede un raro e impareggiabile patrimonio archeologico anche nei suoi fondali circostanti. Reperti dell'età antica sono conosciuti lungo tutto il perimetro costiero, ma nel tratto di mare tra la Scola e Cala dei Turchi, a una profondità tra i 20 e i 30 metri, si rinviene un vero e proprio "cimitero" di anfore e ancore risalente al I secolo d.C. (fig. 9). Vale la pena ricordare che la scoperta di molti di questi reperti avvenne in seguito alla messa in onda del documentario *Pianosa: un'isola da difendere* realizzato dal GRSTS (Gruppo Ricerche Scientifiche e Tecniche Subacquee - Firenze) e per conto dell'allora Ministero della Marina Mercantile.

Un progetto per la salvaguardia di questo importante sito archeologico, segnalato alla Soprintendenza Archeologica per la Toscana a partire dagli anni novanta, potrebbe essere il seguente: tramite apparati di video-ripresa con telecamera comandata a distanza e successiva trasmissione delle immagini, nonché con l'ausilio di sofisticati strumenti di rilevamento, potrebbe essere effettuato un preciso monitoraggio dell'assetto e dello stato del fondale, fissando le immagini ottenute e rendendole suscettibili di essere riprodotte con assoluto rigore. Con ciò si renderebbe intatto e disponibile un campo archeologico prezioso per la ricerca scientifica, offrendo al contempo l'emozione di visitare il sito anche a chi non sia in grado di immergersi.

Nel pieno rispetto di tutte le norme vigenti, il Gruppo Ricerche Scientifiche e Tecniche Subacquee di Firenze, unitamente all'Associazione per la Difesa di Pianosa, si propone come garante e portavoce di questo progetto informativo per la divulgazione archeologica subacquea.

L'AMBIENTE TERRESTRE
Alessandra Contiero

La parte terrestre dell'Isola di Pianosa è caratterizzata da vari ecosistemi, cui si è sovrapposto l'impatto dovuto alla presenza dell'uomo dal neolitico a oggi. Sparita la lecceta, probabilmente già in epoca romana, lo sfruttamento agricolo del suolo nel secolo carcerario ha determinato il formarsi di spazi vegetali geometrici separati da vie di comunicazione sia in senso nord-sud che ovest-est, determinando una situazione che vede attualmente la presenza di vegetazione a macchia mediterranea alta o bassa e di estensioni di gariga. Tutto dislocato in spazi geometrici spartiti dalle vie di comunicazione che corrono da nord a sud e da est a ovest.

La fascia costiera è per lo più costituita da macchia mediterranea alta costituita da lentisco (*Pistacia lentiscus*), alaterno (*Rhamnus alaternus*) e ginepro fenicio (*Juniperus phoenicea*), intervallata da pinete di pino d'Aleppo (*Pinus halepensis*) postevi dall'uomo affinché



10. Rosmarino fiorito nella zona del paese



11. Golfo di Porto Romano con una pianta fiorita di cineraria in primo piano

facessero da barriera all'azione dannosa del vento ricco di salsedine sulle retrostanti coltivazioni. Il leccio (*Quercus ilex*) è rappresentato da alcune unità integrate alla pineta a Punta Secca e alla Grotta delle Vacche, nonché da due zone di vivaio: una più vecchia, costituita da un rettangolo tra la diramazione di Agrippa e il mare, con una sessantina di piante centenarie inframmezzate da pino domestico (*Pinus pinea*), e una con piante più giovani vicino alla vecchia vigna.

Scarsa la presenza del mirto (*Myrtus communis*), localizzata verso la Punta del Marchese, e di corbezzolo (*Arbutus unedo*), del quale si conosce un'unica pianta vicino alla Torretta Vecchia. I ginepri a ginepro fenicio misto a cisto marino (*Cistus monspeliensis*) e villosa (*C. incanus*) e con una forte presenza di rosmarino (*Rosmarinus officinalis*, fig. 10) prevalgono laddove la macchia alta si dirada.

Le coste rocciose sono colonizzate fino alla fascia degli spruzzi da elicriso (*Helichrysum italicum*), cineraria (*Senecio cineraria*, fig. 11), ginestrino (*Lotus cytisioides*).



12. Il Marangone: “Se mi sorridi io non ho paura”

des), violacciocca rossa (*Matthiola incana*) e viola tricuspidata, mentre sulla spiaggia di Cala San Giovanni fioriscono il giglio marino (*Pancratium maritimum*) e il papavero delle sabbie (*Glaucium flavum*).

Le strade bianche, dritte, parallele e perpendicolari suddividono la zona agricola in tanti rettangoli. Qui, dismesse le coltivazioni, la macchia mediterranea si sta riappropriando del terreno. Nella zona della penisola del Marchese, la gariga si presenta ricca di fioriture stagionali come quella della carota selvatica (*Daucus carota*), che a giugno ricopre i prati di ombrelli bianchi. Alla fine di maggio, gli ex coltivi della zona centrale con le fioriture dei cespugli rossi ricordano le coltivazioni di piante destinate a foraggio per il bestiame.

Lo sfruttamento antropico ha determinato una presenza faunistica relativamente povera di specie. Così tra i mammiferi, a parte i ratti e le numerose lepri, introdotte a scopo venatorio, che ora proliferano indisturbate, l'unica presenza di rilievo è quella dei pipistrelli, che con i loro voli serali contribuiscono a tenere sotto controllo le zanzare, costante “flagello” delle notti pianosine.

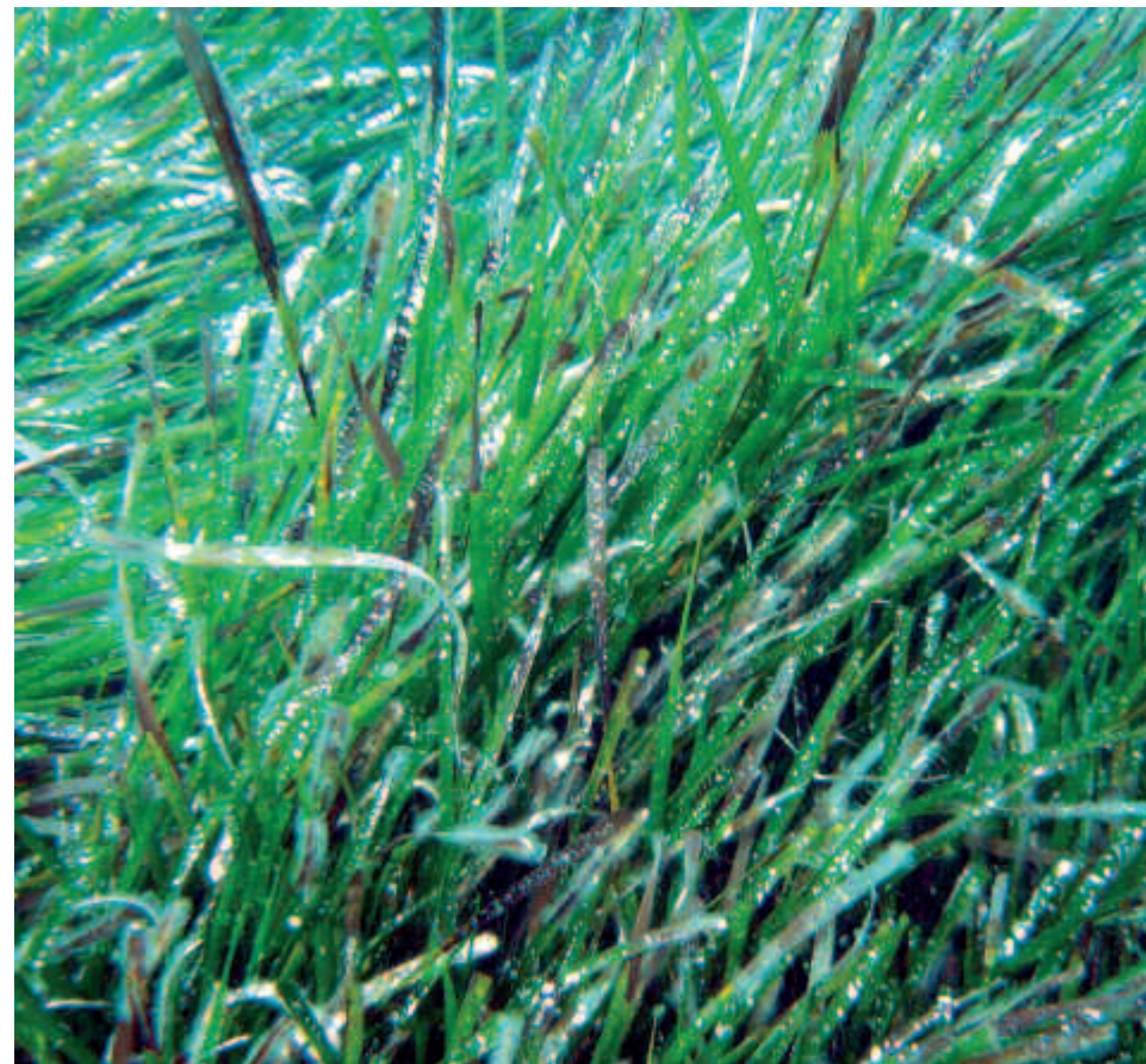
Importante per numero e qualità delle specie presenti è invece l'avifauna, sia stanziale sia soprattutto legata agli spostamenti migratori, malgrado la recente semplificazione del paesaggio vegetazionale abbia causato la scomparsa di molte nicchie trofiche. Lungo le coste nidificano il marangone dal ciuffo (*Phalacrocorax aristotelis*, fig. 12), la berta maggiore (*Procellaria diomedea*,

sull'isolotto della Scola), il falco pellegrino (*Falco peregrinus*) e il gabbiano corso (*Larus audouinii*), simbolo del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano. In estate l'isola viene popolata dal pigliamosche (*Muscicapa striata*), dall'upupa (*Upupa epos*) e dal gruccione (*Merops apiaster*), né è raro veder zampettare lungo la spiaggia di Cala San Giovanni il piro-piro piccolo (*Tringa hypoleucos*) o alzarsi in volo dalla Punta dei Grottoni l'airone cinerino (*Ardea cinerea*). In inverno il gheppio (*Falco tinnunculus*) e l'albanella (*Circus cyaneus*) svernano all'interno dell'isola, mentre in mare è possibile osservare tuffarsi la sula (*Sula bassana*).

L'isola ospita anche interessanti endemismi, alcuni dei quali – come la “chiocciolina” *Oxychilus oglasicola* e la lucertola *Podarcis muralis muellerlorenzi* – ristretti addirittura all'isolotto della Scola.

IL MARE DA PROTEGGERE
Alessandro Olschki

Per sapere come proteggere una determinata zona marina non occorre “inventare l'ombrello”: basta rivolgere lo sguardo al di là della trentina di miglia che separano l'Elba dalla Corsica per trovare straordinari esempi dei risultati che si possono conseguire quando vengano rispettate alcune elementari considerazioni di carattere ecologico e sociale.



13. I bassi fondali che circondano l'isola sono per larghi tratti occupati da prateria di *Posidonia*, pianta utilizzata per il monitoraggio ambientale e molto importante negli equilibri ecologici marini; la prateria di Pianosa è la più rigogliosa e integra del Mediterraneo (foto prof. F. Cinelli, Università di Pisa)

Di norma, il “varo” di una zona marina protetta ha come primo effetto quello di interdire l'attività di pesca, generando un impatto fortemente negativo nei confronti della popolazione locale che, per tradizione, ne trae sostentamento. Assai flebile è la considerazione che l'istituzione di un'area protetta possa creare una riconversione delle attività indirizzandole verso percorsi turistici, economicamente importanti. Pianosa, dato che per ben oltre un secolo non vi è stato alcun insediamento civile, non ha tradizioni da interdire. Una situazione praticamente unica e irripetibile nei nostri mari. Affinché svolga il proprio compito di ricreare l'equilibrio biologico anche della fauna locale, una zona marina protetta deve avere alcuni requisiti di base: estendersi fino alla batimetrica dei 50 metri (fig. 13); costituire un ambiente trofico per la fauna stanziale; usufruire di un costante ed efficace controllo; evitare l'inquinamento acustico, cui la fauna ittica è molto

sensibile, accogliendo solo una navigazione a motore disciplinata.

I risultati conseguiti a Capraia sono senza dubbio positivi, mentre l'esempio della zona protetta dell'Elba dallo Scoglietto all'Enfola è importante in quanto la zona non era di interesse per la pesca (e, per questo, non vi è stata alcuna opposizione locale), anche se soltanto intorno allo Scoglietto si è ricreata una certa vita.

Dell'importanza dell'inquinamento acustico si ha una riprova sulla Secca delle Carene a Sant'Andrea, dove la fauna, che un tempo era ricchissima, oggi è praticamente scomparsa non tanto a causa delle attività di pesca, quanto per il continuo passaggio delle barche a motore che vi transitano sopra circumnavigando l'isola. A Pianosa il regime carcerario ha interdetto qualsiasi navigazione entro un miglio dalla costa e questo divieto sussiste ancora, rendendo così tutta l'area marina assolutamente indenne.



14. Due corvine (*Sciaena umbra*) nascoste, come spesso fanno, in una tana molto bassa



15. *Apogon imberbis*, un pesciolino che predilige trascorrere molto tempo in grotte e anfratti, di cui i fondali di Pianosa sono ricchissimi (foto prof. F. Cinelli, Università di Pisa)

Ancora una volta la situazione ecologica di Pianosa emerge in tutta la sua importanza. I fondali, prevalentemente calcarei, ricchi di tane e di anfratti (figg. 14-15), si estendono in limitate profondità per un largo raggio, creando una zona di molte miglia quadrate fino alla profondità di 50 metri intorno al perimetro dell'isola, che ha uno sviluppo costiero di oltre 10 miglia. Fin dai tempi delle prime frequentazioni subacquee (negli anni quaranta), fu riscontrata una densità ittica molto superiore a quella, pur importante all'epoca, dell'isola d'Elba. La vicinanza del vallo profondo che la separa dalla Corsica è trofico per le sostanze nutritive che vi provengono e che favoriscono l'alimentazione del primo anello della catena biologica marina: il plancton. L'isola è altresì sulle direttrici essenziali dei pesci d'altura e rimane in pratica esente da ogni forma di inquinamento, in quanto per via delle correnti gli importanti residui antropici di provenienza continentale si disperdono parallelamente alla costa in direzione nord-sud-nord.

IL CARCERE Fausto Foresi

La storia carceraria dell'isola ebbe inizio il 9 aprile del 1858, quando fu istituita la "Colonia Penale Agricola della Pianosa", la prima d'Italia. I primi reclusi furono dodici minorenni provenienti dalle Murate di Firenze. Con la sua disponibilità di mezzi, il carcere significò molto per la rinascita dell'isola, fino ad allora quasi completamente disabitata. A edificarlo fu l'amministrazione penitenziaria, con la manodopera dei detenuti e con Oggero e Ponticelli (i primi due direttori) nel ruolo di ideatori. A dirigere i lavori, che durarono più di trent'anni, venne chiamato l'ingegnere elbano Francesco Filippini. I maggiori edifici carcerari erano da considerarsi (e così venivano chiamati) dei veri e propri poderi, ovvero centri logistici di allevamenti e colture che venivano svolti nei loro pressi (fig. 16).

Una fase molto importante si registrò nel 1884, quando furono trasferiti a Pianosa detenuti malati di tuber-



16. Il Podere del Giudice in una foto storica; qui erano ubicate le stalle



17. Il "cimitero dei cronici"; qui venivano sepolti i detenuti e, in particolare, quelli morti di tubercolosi

colosi. In quel tempo si pensava che la vita all'aperto, unita all'aria di mare, potesse essere salutare. Così non era, ma il 5 maggio 1907 – vero evento storico – venne addirittura inaugurato il primo sanatorio criminale italiano "Alessandro Doria": un ospedale attrezzato per la cura delle malattie polmonari che rimase attivo fino al 1965 e favorì notevoli progressi terapeutici.

Il trattamento dei detenuti ammalati si svolgeva in tre strutture lontane fra loro: il Preventorio (attiguo alla Centrale), il Sanatorio (ovvero l'ex Podere del Cardon e

attuale Agrippa) e il Convalescenziario (ovvero il Podere del Marchese). Dal 1860 al 1946 furono trattati a Pianosa migliaia di detenuti e circa 2350 morirono. Molti di questi furono sepolti nel "cimitero dei cronici", una struttura semplicissima e struggente, edificata presso la costa occidentale dell'isola (fig. 17). In quegli anni, nella diramazione del Semoello fu "ospitato" anche il futuro presidente della Repubblica Sandro Pertini, recluso per motivi politici, che vi rimase fino al 10 settembre 1934.



18. Il lungo muro che separa la zona del paese dalla colonia penale di un tempo, voluto dal generale Carlo Alberto Dalla Chiesa; mai usato e inutile, è il simbolo del decadimento dell'isola

Dalla fine del settanta ai primi anni ottanta, per volere del generale Carlo Alberto Dalla Chiesa, Pianosa fu trasformata in carcere di massima sicurezza (fig. 18). Vi furono trasferiti alcuni fra i massimi esponenti delle Brigate Rosse quali Renato Curcio, Giovanni Senzani, Alberto Franceschini e Mario Moretti, cui seguirono camorristi quali Lorenzo Nuvoletta, Panda e Pannico. Gli anni ottanta hanno coinciso anche con il periodo di

maggior presenza sull'isola: nella primavera del 1989 vivevano a Pianosa 500 agenti e 1000 detenuti. Nello stesso anno, però, si cominciò a prospettare, da più parti, l'ipotesi di una chiusura del carcere. Nel 1992 erano presenti solo 92 agenti e 100 detenuti in regime di semilibertà. Una tale flessione, però, fu rapidamente invertita a seguito dagli attentati ai magistrati Giovanni Falcone e Paolo Borsellino. Il Governo, infat-

ti, decise l'immediata riattivazione del carcere con scopi di massima sicurezza, relegandovi detenuti per reati di tipo mafioso: una manovra nota come 41bis dalla legge appositamente istituita. Fu così che nel luglio di quell'anno Pianosa si trasformò nella Alcatraz del Tirreno e i campi sportivi divennero piste di atterraggio per i Chinook, gli elicotteri a doppia elica che trasferivano sull'isola i detenuti speciali. Questa nuova e drammatica situazione, sconosciuta a molti, trasformò Pianosa in una fortezza inaccessibile, vigilata giorno e notte da agenti di polizia penitenziaria, carabinieri e polizia, con rigidissimi divieti di sorvolo e di navigazione nelle acque circostanti, inizialmente presidiate da unità della Marina Militare. L'emergenza si protrasse fino al luglio 1997, quando l'ultimo mafioso lasciò l'isola e per il carcere di Pianosa si prospettò nuovamente la chiusura, che si realizzò nell'agosto dell'anno successivo.

Un progetto per il futuro

L'Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa ha seguito ogni passo degli accadimenti recenti che hanno riguardato l'isola. Contemporaneamente all'istituzione del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, è intervenuta nel tentativo di compensare alcune carenze che riguardavano l'integrazione di Pianosa nello sviluppo del parco. Inizialmente, nel 1996, Pianosa era esclusa dai programmi perché considerata solo e unicamente come carcere: esclusione che è alla radice della drammatica situazione attuale. Il carcere chiuse nel 1998 e Pianosa piombò nel vuoto più profondo. L'Associazione percepì in anticipo questo dramma e propose per iscritto a tutte le istituzioni in un dettagliato progetto di riconversione dell'isola, che doveva abbandonare la sua vocazione carceraria e acquisirne una naturalistico-ambientale. Un passaggio che avrebbe dovuto realizzarsi gradualmente, con il carcere in attività e con l'amministrazione penitenziaria che progressivamente lasciava gestione e spazi sempre più ampi al parco. Così non fu. L'amministrazione penitenziaria abbandonò l'isola mantenendone la concessione demaniale (in pratica la proprietà), impedendo di fatto che altre attività stanziali s'instaurassero al posto suo. Dopo oltre dieci anni, nonostante i numerosi cambiamenti, anche nel "colore politico", ai vertici degli enti locali e nazionali, la situazione non è mutata, a testimonianza di un male istituzionale ormai cronicizzato. È molto difficile uscire da questo *enpasse*. Un vuoto nel quale ogni tanto trovano posto idee "malsane", quali la riapertura di un carcere duro per reati di mafia in regime di 41bis (nel quadro delle nuove leggi sulla sicurezza), oppure l'installazione di un impianto nucleare per la produzione di energia elettrica (nel quadro della nuova apertura al nucleare). E ciò in barba a qualsiasi valore ambientale, peraltro rappresentato dalla presenza sul territorio di un parco

naturale nazionale! Unica via di "guarigione" non può essere che quella di una rin vigorita volontà e nuovo interesse politico.

Secondo l'Associazione, il solo futuro possibile per Pianosa rimane quello di essere parco a tutti gli effetti. Un'area visitabile in terra e in mare che non perda le caratteristiche acquisite in passato e che riesca a trasmettere sensazioni intense, derivate da una natura libera e da una storia antica e recente che avvolge tutto con il suo fascino. Per raggiungere questo obiettivo, i visitatori devono essere messi nella condizione di "sentire Pianosa" dentro di loro. Devono viverla, assorbirla lentamente.

Di seguito sono esposti alcuni punti tramite i quali questo traguardo può essere raggiunto.

- Uno sforzo degli enti pubblici, locali e nazionali, dovrà innescare e accompagnare il processo di recupero, in particolare garantendo i servizi primari. Dovranno essere assicurati: a) collegamenti marittimi adeguati; b) la funzionalità e la sicurezza del porticciolo; c) una rete idrica (compresi i pozzi) e fognaria (includente un depuratore) efficiente; d) un efficace sistema di raccolta (meglio se differenziata) e di smaltimento dei rifiuti; e) il rispetto delle norme igieniche e l'assistenza sanitaria alle persone residenti e ai visitatori. Per tutto l'arco dell'anno dovranno essere presenti rappresentanti delle forze dell'ordine e in particolare del corpo forestale dello Stato, con compiti di vigilanza e controllo.

- Ogni attività gestionale e turistica (compagnia di navigazione, guide parco, centro immersioni ecc.) dovrà essere organizzata e avere sede sull'isola. A questo scopo non dovranno essere costruite nuove strutture, ma sarà necessario il recupero di quelle presenti senza assolutamente aumentarne i volumi. Contemporaneamente alle opere di recupero dovrebbero essere abbattute alcune strutture edificate in base a soli criteri di sicurezza (periodo carcerario), che risultino da recenti abusi edilizi o, comunque, estranee allo stile architettonico dell'isola. Ogni attività dovrà contribuire anche economicamente al mantenimento dell'isola e non configurarsi come il solo sfruttamento delle sue peculiarità a scopo turistico, come oggi spesso accade.

- Dovrà essere considerata la vocazione carceraria e sviluppata quella agro-pastorale tramite sistemi di allevamento e coltivazione ecologici che insistano sulla porzione di territorio storicamente dedicata a questo scopo. Tali attività potranno essere svolte da una cooperativa sociale, ossia un'azienda agricola costituita da reclusi non pericolosi in regime di rieducazione: detenuti dalla vicina casa di reclusione di Porto Azzurro, la cui amministrazione curerà gli aspetti organizzativi. I prodotti del lavoro potranno essere messi sul mercato, venduti sul posto ai visitatori o consumati nelle strutture di accoglienza dell'isola. La cooperativa sociale San Giacomo, già operativa sul posto, si è più volte resa disponibile per iniziative di questo tipo.

- I siti archeologici, sia terrestri sia subacquei,

potranno essere visitati secondo percorsi studiati e attrezzati. Alcuni siti subacquei potrebbero essere osservati anche a terra, in diretta, con l'ausilio di impianti speciali (si veda il paragrafo dedicato all'archeologia subacquea). Le visite si svolgeranno solo tramite accompagnamento da parte di guide specializzate e, naturalmente, interesseranno i soli siti autorizzati dalla Soprintendenza Archeologica per la Toscana, che sarà chiamata a partecipare all'organizzazione. Sarebbe inoltre auspicabile che i numerosi reperti rinvenuti in passato nell'isola e oggi ricoverati in magazzini e archivi tornassero a Pianosa per essere ospitati in una sede museale, che potrà consistere in una delle strutture più capienti e caratteristiche dell'isola, come il Forte Teglia, ipotizzato ad esempio in un recente progetto della Soprintendenza Archeologica per la Toscana.

- Alcune strutture carcerarie potrebbero essere recuperate per accogliervi i detenuti presenti sull'isola con compiti lavorativi. Almeno un'altra struttura, da selezionare fra quelle maggiormente rappresentative (il giudice, il sanatorio o la centrale vecchia), dovrà essere ristrutturata mantenendone fedelmente le caratteristiche architettoniche sia degli interni sia degli esterni. Questa sarà adibita a museo carcerario e costituirà anch'essa l'apice di un percorso all'aperto esplicativo dell'organizzazione della ex colonia penale agricola. Tale percorso contribuirà a non "disperdere" la storia carceraria dell'isola e sarà organizzato con una preponderante partecipazione del Ministero della Giustizia, rappresentato sul posto dall'amministrazione penitenziaria della casa di reclusione di Porto Azzurro.

- Le numerose e interessanti peculiarità geologiche e geomorfologiche dell'isola potranno costituire oggetto di uno o più percorsi di visita, indipendenti oppure facenti parte di quelli di interesse naturalistico e paesaggistico. Le visite al territorio dovranno essere tutte guidate da personale esperto rappresentato da guide riconosciute. Comunque, per offrire una certa autonomia ai visitatori si potranno studiare anche uno o più percorsi liberi. Questi insisteranno su aree non pericolose, prive di emergenze archeologiche e non in condizione di disturbare gli equilibri floro-faunistici. In altre parole si tratta di individuare itinerari dove sia possibile fare una semplice passeggiata. Soprattutto nel periodo primaverile potranno inoltre essere attivati circuiti da percorrere a cavallo, in calesse e anche in bicicletta (escursioni in bicicletta sono possibili anche attualmente). In particolar modo lungo la fascia costiera sono ancora presenti tratti integri di macchia mediterranea attraversati da sentieri percorribili su due ruote. Fino ai primi anni ottanta, del resto, la bicicletta era un comune mezzo di trasporto sull'isola, tanto che anche la polizia penitenziaria svolgeva in bicicletta il servizio di vigilanza lungo il perimetro costiero (fig. 19). Sono da escludere per qualsiasi attività, eccettuati i servizi di soccorso, tutti i mezzi con motore a scoppio.

- Il mare, vera ricchezza di Pianosa, sarà anch'esso

visitabile. Tutt'intorno all'isola potranno essere individuati (studi in proposito sono già stati eseguiti) punti per l'immersione sportiva in apnea o con respiratore: cosa che eviterà il blocco totale dell'attività in caso di condizioni meteo-marine avverse (Pianosa presenta sempre tratti ridossati anche durante perturbazioni mediamente intense). Le immersioni, di vario livello e difficoltà a partire dallo *snorkeling* per i principianti, saranno contingentate e i punti potranno essere raggiunti via terra o via mare con imbarcazioni a propulsione elettrica. Le immersioni dovranno essere esclusivamente guidate e non libere, nonché svolte secondo le regole in vigore e nel rispetto delle eventuali limitazioni che, di volta in volta, dovessero rendersi necessarie. La balneazione libera sarà possibile unicamente nell'area di Cala San Giovanni, dove tuttora è consentita e dove la fauna marina ha mostrato un forte adattamento alla presenza dell'uomo. Nella baia di questa località è infatti possibile fare incontri ravvicinati anche con grossi pesci pelagici (dentici, ricciole, barracuda ecc.). Sia sulla spiaggia sia nel mare antistante saranno comunque da evitare presenze numericamente troppo elevate. Potranno inoltre essere realizzate (esperienze in tal senso sono già state fatte) escursioni in canoa, sempre guidate, e una scuola di vela per sole piccole imbarcazioni. La sede di queste attività sarà il porticciolo, di cui potranno essere utilizzate le abitazioni circostanti, le grotte e, previo il suo recupero, l'area del capannone, una struttura che in passato veniva utilizzata per il ricovero di barche e attrezzature nautiche nonché per la manutenzione delle imbarcazioni dell'amministrazione penitenziaria. Le sole imbarcazioni con motore a scoppio saranno quelle adibite al soccorso e alla sicurezza.

- Enti di ricerca nazionali e internazionali hanno svolto numerose attività in Pianosa e nelle sue acque circostanti. Alcuni di essi sono già presenti sull'isola con sedi stabili, altri potrebbero esserlo disponendo di ulteriori strutture. Tutti i soggetti sarebbero coinvolti nello studio dell'ambiente e le università toscane potrebbero organizzarvi anche campi di studio. Potrebbero esservi realizzate attività di didattica e di ricerca anche con "sviluppo verticale", cioè con progetti cui partecipino contemporaneamente ricercatori e studenti di vario livello, dalle scuole elementari fino alle università. Questo aumenterebbe di molto sia gli scambi culturali fra generazioni differenti, sia la qualità dell'apprendimento. Gli enti coinvolti dovranno avere cura delle strutture utilizzate, nonché realizzare e mantenere una biblioteca unica che raccolga tutto il materiale necessario sia alla ricerca sia alla didattica. Le ricerche svolte dovranno essere comunicate ai visitatori mediante seminari, dibattiti, escursioni, visite ed esperienze di laboratorio. Almeno per alcune sezioni, biblioteca e laboratori di ricerca dovranno essere aperti a tutti i visitatori.

- Alcune strutture scelte fra quelle esistenti dovranno



19. Festa del Corpo di Polizia Penitenziaria negli anni sessanta: gli agenti sfilano con i mezzi usati, comprese le biciclette

no essere destinate all'accoglienza dei visitatori, i quali potranno rimanere sull'isola per non più di una settimana. Chiunque raggiunga Pianosa non sarà esclusivamente una persona in vacanza, ma il visitatore di un parco che ne arricchirà la cultura naturalistica, scientifica e storico-archeologica. Non ci dovranno essere proprietà private e tutto dovrà rimanere pubblico o affidato a cittadini o enti privati solo tramite concessioni. Alcune abitazioni dovranno essere concesse anche a chi risiederà in Pianosa per lavoro. Saranno possibili escursioni giornaliere dall'Elba o dal continente, ma solo in numero ridotto, dando la preferenza a visite di più giorni. Sull'isola vi saranno esclusivamente strutture ricettive per i visitatori, mentre non sarà ammessa la nascita libera di alberghi, negozi o altre strutture private. I visitatori avranno a loro disposizione un piccolo centro commerciale dove reperire quanto necessario alla loro permanenza. Sarà evitata qualsiasi forma di inquinamento acustico, comprese le discoteche. Punti di ritrovo dove trascorrere in particolare le ore serali saranno comunque individuate. Alcune attività ed escursioni potranno essere realizzate anche di notte, dando così spazio a esperienze emotive differenti, ma sicuramente non meno intense e coinvolgenti di quelle diurne.

- È auspicabile che alcune delle associazioni ambientaliste riconosciute partecipino in modo diretto e costante alle attività sull'isola, mantenendo autonomamente le strutture di cui avranno bisogno. Se questo progetto si realizzerà, l'Associazione per la Difesa

dell'Isola di Pianosa potrà cambiare il proprio nome, non essendoci più la necessità di una strenua difesa. La nuova gestione sarà tale per cui l'isola, le persone che vi lavoreranno e i visitatori stessi costituiranno la migliore garanzia per una sua difesa. I soci potranno svolgere servizi di volontariato e continuare a mantenere e a sviluppare la mostra fotografica: un bene imprescindibile, depositario della memoria storica di Pianosa, delle persone che vi sono nate e vi hanno vissuto, nonché delle attività che vi sono state svolte.

- Per quanto possibile, le attività sull'isola dovranno essere garantite per tutto l'arco dell'anno con la presenza costante di visitatori: scoutismo, gite scolastiche per ogni ordine e grado, campi studio universitari, corsi di formazione/aggiornamento su tematiche storico-ambientali, ritiri per gruppi sportivi, attività congressuali ecc.

Il carico antropico

In passato Pianosa non ha mancato di essere caratterizzata da forte pressione antropica, tanto che in alcuni periodi vi hanno risieduto quasi 2000 persone. Questo numero sarebbe troppo elevato per un corretto ed equilibrato utilizzo del territorio e delle strutture. Comunque sia, nell'isola sono presenti edifici in numero sufficiente ad accogliere residenti, visitatori e attività. Anche se il carico sostenibile dovrà essere stabilito con attenzione,

Tabella 1. Esempio di organizzazione delle escursioni durante un periodo di massima affluenza estiva; nella tabella sono riportate le attività che possono essere offerte contemporaneamente ai visitatori presenti

	Numero partecipanti	Possibili attività
1	25 (3 gruppi)	Escursioni subacquee
2	20	Itinerario carcerario
3	20	Percorso archeologico- periodo pre-romano
4	20	Percorso archeologico- periodo romano
5	20	Escursione geologica
6	20 (2 gruppi)	Snorkeling da terra
7	50	Balneazione presso la spiaggia di cala S. Giovanni
8	30	Percorsi liberi
9	15	Itinerario in canoa
10	30 (2 gruppi)	Trekking (2 gruppi)
11	15	Percorsi in bicicletta
12	10	Percorsi a cavallo/calesse
13	20 (2 imbarcazioni)	Giro isola con imbarcazione elettrica
Totale	295	

probabilmente il numero complessivo di persone contemporaneamente presenti potrebbe aggirarsi intorno a 500 (studi della Provincia di Livorno indicavano in 700 il numero massimo sostenibile), di cui 150-200 come residenti per lavoro (detenuti compresi) e 250-300 come visitatori. Le riserve d’acqua dolce, la rete idrica e il depuratore sono proporzionati al numero proposto. L’energia elettrica, che fino ai primi anni novanta era prodotta sul posto da una centrale termoelettrica a gasolio, oggi arriva all’isola tramite cavi sottomarini, sovradimensionati rispetto all’effettivo assorbimento. Non saranno quindi necessarie altre opere, costruzioni o particolari rinnovamenti, ma soltanto adeguamenti. Questi potranno essere eseguiti nel rispetto assoluto dello stile architettonico, soprattutto per quanto riguarda i complessi e gli immobili più caratteristici. Il numero di persone indicato dovrebbe risultare adeguato a non turbare gli equilibri floro-faunistici, che andranno rispettati a prescindere da ogni altra esigenza. Inoltre si deve tenere ben presente che tale numero, senz’altro ridotto, una volta stabilito non potrà essere cambiato con troppa disinvoltura, sia pure nel rispetto dei criteri di programmazione delle imprese coinvolte.

Oggi le disposizioni del parco limitano a 250 persone le presenze contemporanee esclusi gli operatori. Finché sono impegnati nei percorsi organizzati (tab. 1), i visitatori non fanno avvertire in alcun modo la loro presenza; quando invece sono liberi, essi tendono a riversarsi in massa sulla spiaggia di Cala San Giovanni, facendola così divenire più simile a un bagno organizzato che all’arenile di un parco. Tali storture, in ogni caso, possono essere evitate mediante un’offerta organizzata che impedisca concentrazioni in luoghi specifici.

L’organizzazione economica

Il recupero di Pianosa e l’avvio delle attività proposte necessita senz’altro di finanziamenti iniziali. In questo senso non sono mancati in passato esempi positivi, però di efficacia limitata in quanto non giustificati da un progetto sostenibile a lungo termine. Il segnale più importante dovrà provenire dagli enti pubblici presenti, ai quali spetterà il compito di riqualificare tutti i servizi. Si tratta di un atto dovuto, soltanto grazie al quale potranno essere gettate le basi per uno sviluppo corretto e controllabile. Gli enti potranno partecipare anche allo sviluppo delle imprese che, iniziando la loro attività su un territorio disagiato, avranno bisogno di crediti dedicati e agevolati. In pochi anni, con una promozione internazionale affidata non solo alle agenzie private, ma promossa e seguita dal Parco Nazionale, alcune imprese potranno vedere migliorati sensibilmente i loro bilanci. Le quote di ingresso pagate dai visitatori, con le attività pienamente avviate, dovranno essere sufficienti al mantenimento delle stesse. Da tener presente che il “meccanismo” studiato rimane comunque delicato e funzionerà solo se le imprese che svolgeranno attività meno remunerative saranno sostenute da quelle che produrranno maggiori utili. Un esempio di ciò potrebbe essere l’azienda agricola, la quale, utilizzando metodi tradizionali con molta manodopera e sfruttando solo parzialmente il territorio, difficilmente potrà rendersi economicamente autonoma. La sua presenza è però essenziale al progetto, mantenendo la vocazione dell’isola e caratterizzandone tutto il sistema socio-ambientale. Dovrà quindi essere studiato un meccanismo che oltre ad assicurare l’organizzazione svolga anche un ruolo di “gestione degli utili” e provveda al sostentamento di tutte le attività: meccanismo che potrebbe consistere in un consiglio dei rappresentanti degli enti e dei soggetti presenti, la cui direzione dovrebbe essere affidata al parco.

* L’amico Alessandro Olschki ci ha lasciato giovedì 3 febbraio 2011, dopo lunghi mesi di incurabile malattia, all’età di quasi 86 anni. Era in procinto di scrivere un libro per la commemorazione del 125° anniversario della prestigiosa casa editrice Leo S. Olschki, fondata dal nonno polacco Leo Samuel. Oltre alla professione di editore, era molto noto nel mondo sportivo prima come campione di pesca subacquea – italiano, europeo, mondiale – poi come fotografo ricercatore, divulgatore e organizzatore di spedizioni scientifiche. L’amore per il mare l’ha portato a raggiungere traguardi importanti in tutti i mari del mondo. Uno dei suoi primi desideri da quando diventò presidente del Gruppo Ricerche Scientifiche e Tecniche Subacquee di Firenze, fu quello di avanzare nel 1968 con “Italia Nostra” la proposta di istituire un parco nazionale insulare di Pianosa. Le alterne vicende legislative che avevano per oggetto la tutela dell’ambiente marino portarono al riconoscimento della Riserva Naturale Integrale dell’isola solo nel 1974. Una piccola ma grande testimonianza delle sue lungimiranti vedute.

Io, il lettore



Punta Falcone presso Piombino,
falesia rivestita dal Fico degli Ottentotti,
Carpobrotus acinaciformis (L.) L. Bolus
(foto "Il Graffio", Follonica)

Le chiocchie da allevamento: risorse alimentari di tutto rispetto

Roberto Dante Bredice

Via delle Fonti, 45 - 53010 Pianella, Castelnuovo Berardenga (Siena).
www.lachioccioladelchianti.it

Da appassionato elicoltore e come lettore di “*Etrurianatura*”, spero di riuscire a risvegliare un po’ di simpatia e interesse nei confronti delle chiocchie: animali frequentemente disprezzati a causa dei danni che procurano ai nostri orti e giardini, nonché visti e trattati con disgusto soltanto perché colpevoli di essere “mollicci e bavosi”. A parte il fatto che la bava delle chiocchie è ben considerata in farmaceutica e in cosmetica per le sue qualità cicatrizzanti e antirughe, è senz’altro possibile e auspicabile convertire questi animali da dannosi in benemeriti semplicemente promuovendoli a risorsa alimentare di qualità e allevandoli senza che ciò debba implicare eccessive fatiche. Quindi basta con la pregiudiziale antipatia per questi animaletti e... *God save the snails!*

Una lunga storia

Com’è attestato dagli avanzi di pasto presenti in numerosi siti archeologici, le chiocchie o lumache di terra sono state fin dalla preistoria uno degli alimenti più consumati dall’uomo.

Nell’antichità i Greci, che le apprezzavano molto attribuendo a esse virtù afrodisiache (come testimonia Ateneo), inventarono addirittura una speciale “forchetta” per alimentarsene.

I Romani le consideravano un cibo prelibato particolarmente di moda presso le classi sociali più elevate e le allevavano nutrendole con un impasto di foglie di lauro, vino e crusca bolliti. Nel *De re coquinaria*, raccolta di ricette attribuite ad Apicio eseguita nel 230 d.C. dal cuoco Celio, si possono trovare quattro ricette. Apprendiamo così che “Apicio” (nome appartenuto a tre distinti personaggi vissuti in epoche diverse – repubblicana, augustea e traianea – e accomunati dalla fama di inguaribili ghiottoni) spurgava le chiocchie nel latte per

diversi giorni prima della cottura e poi, quando si erano gonfiate tanto da non poter rientrare nel guscio, le friggeva o le arrostita servendole con varie salse.

Al tempo delle guerre civili tra Cesare e Pompeo, le chiocchie raccolte negli orti o nelle campagne del suburbio romano divennero insufficienti a soddisfare le richieste. Nella sua *Naturalis historia*, Plinio il Giovane assicura che i ricchi del tempo ne mangiavano molte provenienti da allevamenti in cui le bestiole venivano ingrassate con farine di cereali ed erbe aromatiche. Pare che tali allevamenti siano stati inventati nel 49 a.C. da un certo Fulvio Lippino, importatore di chiocchie da tutte le parti del mondo allora conosciuto. Per soddisfare i suoi clienti, Lippino imbastì un servizio di traghetti, che trasportavano regolarmente a Roma chiocchie fresche dalla Sardegna, dalla Sicilia, da Capri, dalla Spagna e dal Nord Africa. Nella sua proprietà di Tarquinia, lo stesso personaggio gestiva numerosi vivai di chiocchie, distinti a seconda delle specie: le *bianche* “che nascono nella campagna di Rieti”, le *illiriche* “caratterizzate da una grandezza straordinaria”, le *africane* “che sono molto feconde” e le non meglio precisate *soletane* “ricche di molta fama”. L’idea fu ben presto copiata e per poterne disporre a piacimento si allevarono chiocchie vicino a casa, in recinti chiamati “cocleari”. *Caput mundi* anche in questo, Roma insegnò alle popolazioni delle Gallie come gustare le chiocchie e i francesi, come si sa, non hanno dimenticato la lezione: tanto che ancora oggi danno prova di saperle cucinare in modo divino.

Durante i secoli dell’alto Medioevo gli allevamenti di chiocchie scomparvero, ma il consumo di esse rimase comune. Dal Trecento fino al Rinascimento, sebbene la loro popolarità sia stata sempre discussa, esse non scomparvero mai del tutto dai ricettari dei maestri gastronomi della scuola italiana. D’altra parte, pur trattandosi di animali palesemente terrestri, le chiocchie

vennero rivalutate come “carne di magro” per il periodo quaresimale: dunque ideali nei tempi di penitenza per lo meno a partire dal Rinascimento, cioè da quando – così si racconta – papa Pio V, che ne ebbe voglia proprio nel suddetto periodo, respinse le scandalizzate obiezioni del suo cuoco semplicemente decretando *tout court* alle chiocchie “estote pisces in aeternum!”, cioè “siate pesci per l’eternità!”.

Certo è che le chiocchie rimasero un cibo ‘povero’ fino al primo decennio dell’Ottocento, quando in seguito a una carestia finirono per riconquistare un posto d’onore nell’alta cucina francese. Si racconta che il principe di Talleyrand, nel banchetto che allestì in onore dello zar di Russia Alessandro, le abbia fatte servire con una particolare preparazione.

Due leggende

Sulle chiocchie esistono almeno due leggende. La prima narra che un soldato romano, durante l’assedio di Cartagine, mentre era alla ricerca di chiocchie di cui era particolarmente goloso, scovò un passaggio segreto sotterraneo che permise ai suoi commilitoni di penetrare dentro le mura della città. La seconda racconta che il matematico Leonardo Pisano o Fibonacci (circa 1170-1240) scoprì la serie numerica che lo avrebbe reso famoso (fig. 1) osservando appunto la conchiglia di una chiocciola. I numeri di Fibonacci godono di una gamma stupefacente di proprietà, s’incontrano nei modelli matematici di svariati fenomeni e sono utilizzabili per molti procedimenti computazionali; essi posseggono inoltre varie generalizzazioni interessanti. A questi argomenti viene espressamente dedicato il periodico scientifico “The Fibonacci Quarterly”.

Un po’ di informazioni e di curiosità

Popolarmente le chiocchie vengono chiamate lumache; questo però è sbagliato, in quanto le lumache sono prive di conchiglia e, se ce l’hanno, è minuscola e appiattita.

In Italia una chiocciola è chiamata in modo diverso a seconda della regione: *lumasà* in Piemonte, *cai* in Friuli, *maruzza* in Campania, *caracdiu* in Basilicata, *cazzavòffi* o *patedde* in Puglia, *sizigorry* in Sardegna, *cantarina* nel Lazio ecc.

Il comune modo di dire “lento come una lumaca” nasce appunto dal fatto che le chiocchie e le lumache “viaggiano” strisciando sul loro piede a una velocità non superiore ai 45 metri all’ora.

Le chiocchie sono animali nobili; a contatto con l’aria, infatti, il loro sangue o emolinfa diventa... di colore blu!

Dal latino *cochlea*, che significa chiocciola o conchiglia, deriva anche il termine “cucchiaio”. La ragione di tale etimologia deriva probabilmente dal fatto che le



1. La serie di Fibonacci è una successione di numeri interi positivi che, partendo da 1, si compone ottenendo i suoi elementi dalla somma dei numeri che occupano le due posizioni immediatamente precedenti nella successione stessa. I primi numeri della serie sono quindi 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55...

conchiglie furono tra i primi strumenti usati per mangiare dai nostri antenati.

Pur avendo il corpo molle come tutti gli altri molluschi, le chiocchie hanno la lingua ricoperta da una batteria di piccolissimi e numerosissimi denti – fino a 21.000 in certe specie – denominata “radula” e usata come raspa per tritare il cibo, sia questo vegetale o animale. Inoltre possono secernere un acuminato “dardo” di materiale calcareo con cui trafiggono il *partner* durante gli approcci amorosi. Quanto alla loro conchiglia, egualmente calcarea, essa è secreta dal bordo e dalla superficie del cosiddetto “mantello”, una sorta di lembo carnoso presente in tutti i molluschi che ne protegge il sacco o cavità dei visceri e ne avvolge sia la “testa”, il “piede”, la regione cefalica e l’apparato strisciante o scavatore.

Le chiocchie si ritirano nella conchiglia non soltanto per difendersi dai predatori, ma anche per proteggersi dalle temperature estreme. Questi gasteropodi, infatti, vanno in letargo sia durante la stagione fredda (ibernazione) sia durante quella calda (estivazione). In entrambi i casi, le chiocchie cercano luoghi riparati e vi si raccolgono, dopodiché si ritirano nella loro conchiglia e ne chiudono l’apertura con un “tappo” di muco solidificato (epifragma). Grazie a un sofisticato apparato di regolazione osmotica, in inverno possono sopravvivere almeno fino a -5°C senza congelarsi e in estate resistere alle punte di maggiore calore senza disidratarsi, coadiuvate in ciò anche dalla capacità del loro mantello di cambiare la propria permeabilità all’acqua. Alcune chiocchie vivono addirittura nei deserti, sfruttandovi per lo più l’umidità notturna e potendo in ogni caso rimanere rintanate nella conchiglia anche per più di due anni.

Quando sono in attività, le chiocchie fanno uscire dalla conchiglia la testa e il piede. La testa reca al di sopra della bocca quattro tentacoli, dei quali i due superiori sono più lunghi e dotati di sensori oculari, mentre i due inferiori sono più corti e dotati di sensori



Disegno di Emma



2. Recinto di elicicoltura “all’aperto”, adeguatamente irrigato

tattili e olfattivi. Tutti i tentacoli possono essere ritirati e contratti nella testa.

Pur essendo animali ermafroditi, cioè provvisti di entrambi i sessi, generalmente le chioccioline non sono in grado di autofecondarsi; per riprodursi, quindi, nella maggior parte dei casi devono accoppiarsi con un altro individuo. Quando ciò avviene, l’operazione richiede diverse ore e può essere accompagnata configgendo ciascun *partner* con il “dardo” di cui parlavamo prima, la cui funzione sembra sia quella di veicolare sostanze stimolatrici della recettività degli spermatozoi emessi dall’altro *partner*. Dopo circa una o due settimane, ciascun individuo fecondato depone 40-80 uova di forma sferica e dal diametro di alcuni millimetri; e poiché in un anno possono verificarsi fino a sei covate, ogni chiocciola è in condizione di generarne fino a 480. Quanto alle giovani chioccioline, esse impiegano uno/due anni per raggiungere la maturità sessuale.

Le proprietà alimentari delle chioccioline

La seguente tabella comparativa può servire a illustrare le principali peculiarità della carne di chiocciola.

alimenti	acqua (%)	proteine (%)	grassi (%)	calorie (kcal/100g)
manzo	62,8	18,8	15,4	214
pollo	68,7	19,1	11	175
uovo	73,9	13	11,1	156
pesce (Sogliola)	81,5	15,9	2,6	82
<i>Helix pomatia</i>	84,9	13,4	1,7	67

Essendo povera di grassi (0,8%) e di glucidi (1,7%), la carne di chiocciola apporta solamente 67 kcal ogni 100 grammi, per cui a seconda di come viene cucinata è indicata per qualsiasi dieta: papa Pio V non aveva perciò completamente torto a equipararla a quella di pesce.

La medesima carne, d’altra parte, contiene una gran varietà di sali minerali – a base soprattutto di rame, calcio, zinco e magnesio – in quantità significative per il fabbisogno giornaliero.

Infine, la percentuale di grassi polinsaturi contenuti nel mollusco (circa il 60% del totale, a confronto del solo 5% del totale della carne di manzo) favorisce l’espulsione del colesterolo dall’organismo tramite le vie biliari.

Da tutto ciò si può desumere che le chioccioline sono un cibo molto adatto alle necessità e richieste del consumatore dei nostri tempi.

L’elicicoltura in Italia

Per elicicoltura o “coltivazione degli elicidi”, nome scientifico della famiglia delle chioccioline (*Helicidae* Rafinesque, 1815), s’intende l’allevamento intensivo e a ciclo biologico completo delle chioccioline da gastronomia.

Negli ultimi anni il consumo di questi molluschi è andato via via incrementandosi in tutto il territorio nazionale. Per converso, più o meno in concomitanza con questo fatto, a causa del progressivo aumento dell’inquinamento atmosferico e dell’uso sempre più intensivo di concimi azotati che ne hanno in gran parte compromesso gli habitat tipici, si è verificata una notevole diminuzione di questi prelibati gasteropodi nelle



3. Un allevamento di *Helix aspersa* su un tappeto di trifoglio

zone dove prima vivevano abbondanti e allo stato libero. L’aumento della richiesta di chioccioline da gastronomia e la loro sempre più magra quantità ottenuta dalle campagne di raccolta hanno portato a un notevole sviluppo dell’elicicoltura: un’attività che peraltro richiede un limitato utilizzo di manodopera, l’uso di terreni anche marginali e poco produttivi e soprattutto un limitato investimento economico. Non vi è dunque di che sorprendersi se l’elicicoltura è oggi diventata una diffusa attività, in grado sia di integrare il reddito di un’azienda agricola, sia di consentire a chi lo desidera di evadere dall’ambiente urbano per lavorare, anche a tempo parziale, a stretto contatto con la natura.

Attualmente in Italia il consumo di chioccioline, tra vive e congelate, ammonta complessivamente a 37.000 tonnellate, di cui 28.000 importate per lo più dal Marocco e dall’Algeria. Vi sono ristoranti specializzati

recanti l’insegna *escargot* (chiocciola in francese) che le servono cucinate secondo varie ricette. Ultimamente anche non pochi supermercati hanno deciso di includere chioccioline vive o spurgate e asciutte sui banchi dei pesci e dei molluschi. In Italia vi sono circa 9000 operatori che allevano chioccioline, con una produzione di 8200 tonnellate e un’estensione di circa 7500 ettari.

La tecnica di allevamento a ciclo biologico completo delle chioccioline di gran lunga più diffusa nel mondo è quella chiamata “all’aperto” (fig. 2). Altre metodologie produttive sono state sperimentate negli ultimi vent’anni e alcune di queste, non effettuate all’aperto, sono state oggetto di iniziative per lo più gestite in nazioni europee a clima freddo.

In Italia l’elicicoltura si attua esclusivamente all’aperto e senza coperture o strutture di protezione (fig. 3), in quanto l’attività diventa produttiva ed economica sola-



4. *Helix aspersa* (Müller 1774)

mente se impostata con costi relativamente limitati e controllati. Il metodo consiste nell'introdurre in appositi recinti chioccioline destinate ad accoppiarsi e a moltiplicarsi. La vendita del prodotto è costituita quindi non già dalle chioccioline immesse, come succede con il sistema incompleto o parziale, ma da quelle che nascono dalle chioccioline riproduttrici e si sviluppano nel più o meno lungo periodo di ingrasso.

Se allevate in condizioni artificiali (in serra, in contenitori o in ambienti al chiuso), le chioccioline possono sì accoppiarsi, deporre le uova, diventare adulte ed essere meno soggette a predazione da parte di insetti, roditori e volatili, però necessitano di un continuo lavoro di pulizia, eliminazione delle deiezioni, apporto alimentare dall'esterno e irrigazione artificiale, trovando altresì maggiori difficoltà riguardo all'assimilazione dell'anidride carbonica (al coperto non vi è adeguata areazione) e alla possibilità di beneficiare della necessaria umidità derivante dalla deposizione della rugiada sul suolo. Tenendo conto di questi fattori, unitamente alla semplicità dell'anatomia e fisiologia del mollusco e della lentezza del suo ciclo di vita, fin dai primi tentativi di allevamento gli italiani hanno cercato una realizzazione produttiva strutturata all'aperto.

Le specie commerciali

Nei primi allevamenti molti sono stati i fallimenti a causa dell'utilizzazione di chioccioline che, pur pregevoli per la loro carne, non erano però idonee a un lungo ciclo produttivo in condizioni di cattività. Attraverso numerose prove di adattabilità alla vita in ambienti recintati e spesso anche andando contro ad antiche tradizioni gastronomiche locali, in questi anni sono state



5. Quattro differenti varietà nell'ornamentazione della conchiglia di *Helix aspersa*

selezionate soprattutto tre specie: *Helix* (?) *aspersa* (Müller, 1774) (da circa venti anni, sembra che gli zoologi non abbiano più posizione unanime nei confronti del genere, o primo nome, a cui assegnare questa specie: *Helix*, *Cornu*, *Cantareus* o *Cryptomphalus*?), *Helix pomatia* Linnaeus, 1758 ed *Eobania vermiculata* (Müller, 1774).

Helix aspersa (o *Cornu aspersum*, o *Cantareus aspersus*, o *Cryptomphalus aspersus*) (Müller, 1774) (nomi volgari: “zigrinata” o “maruzza” in Italia; “petit-gris” o “chagriné” in Francia; “caracol” in Spagna) ha una conchiglia robusta dal diametro di 2,5-3,5 cm, dall'altezza di 2,8-3,2 cm e dal margine aperturale (peristoma) biancastro e più o meno ripiegato verso l'esterno, che si presenta sviluppata in 3-5 spire. Il colore di fondo della conchiglia va dal giallo al verdastro e può essere uniforme, sebbene generalmente presenti 1-5 bande spiralate marroni, più o meno ben marcate, con screziatura bianca o gialla (figg. 4-5). Comune in diversi habitat sia naturali sia antropizzati (radure, margini di foreste, campi coltivati e incolti, giardini, orti) della regione mediterranea di cui è originaria, nel corso della storia è stata accidentalmente o deliberatamente trasportata dall'uomo anche in molte altre regioni del mondo (Africa meridionale, Australia, Nuova Zelanda, Nordamerica e Sudamerica meridionale), dove si è rapidamente diffusa grazie alla sua notevole resistenza e capacità di adattamento. Esclusivamente erbivora, si nutre di un'ampia gamma di piante (vari tipi di alberi da frutto con quelli di agrumi in particolare, vegetali da orto, fiori da giardino, cereali ecc.), per cui è considerata fortemente infestante dagli agricoltori e dagli orticoltori. In compenso è oggetto di preda da parte di molti altri animali, includenti piccoli mammiferi, numerose specie di uccelli, lucertole, rane, insetti,



6. *Helix pomatia* (Linnaeus 1758)

miriapodi e gasteropodi a dieta carnivora (quale ad esempio la caratteristica *Rumina decollata*). Negli ultimi decenni è stata usata anche come strumento di monitoraggio dell'inquinamento ambientale, in quanto la sua conchiglia è in grado di accumulare piombo e altri metalli pesanti tossici. *H. aspersa* è una delle chioccioline gastronomicamente più apprezzate e la più facile da allevare, tanto da costituire l'80% dell'intero patrimonio elicicolo italiano. Essa ha notevole velocità di crescita (può giungere alla maturazione sessuale entro 12 mesi di alimentazione), forte riproduttività (quasi 120 uova all'anno in due covate) e vita relativamente lunga (fino intorno ai 5 anni, sembra). In Francia la *petit gris* è stata incrociata con la *gros gris*, una sottospecie africana di *H. aspersa* dalle dimensioni quasi doppie di quella europea, producendo così chioccioline da allevamento di taglia e peso paragonabili all'*H. pomatia*. Per avere un kg di carne di *H. aspersa* occorrono 80 individui spurgati.

Helix pomatia Linnaeus, 1758 è volgarmente nota in Italia come “vignaiola bianca” e in Francia come “gros-blanc” o “escargot de Bourgogne” in quanto tipica di tale regione. Essa si distingue da *H. aspersa* per la conchiglia più grossa (diametro 3-5 cm, altezza 3-4,5 cm), sviluppata in 5-6 spire e di colore marrone chiaro, frequentemente con tenui bande brune; la stessa,

inoltre, ha un bordo aperturale bianco e lievemente ripiegato verso l'esterno, che in corrispondenza del margine columellare si amplia coprendo parzialmente uno stretto ombelico (fig. 6). La specie è distribuita con numerose varietà in quasi tutta Europa, ove predilige gli ambienti freschi e umidi di foreste, cespugliati, pianure, vigneti e giardini dal substrato calcareo e con suolo sufficientemente morbido da poter essere scavato durante gli stadi di ibernazione ed estivazione, che vengono trascorsi sigillando l'apertura della conchiglia con la secrezione di un epifragma calcareo. Nelle zone montagnose può spingersi fino a oltre i 2000 metri di altitudine. La durata della vita di *H. pomatia* può spingersi fino a oltre vent'anni. I giovani raggiungono la maturità sessuale a 2-5 anni di età e cominciano ad accoppiarsi tra loro nel mese di maggio. Le uova vengono deposte in giugno-luglio in covate di 40-65 elementi e si schiudono dopo 2-3 settimane, potendo dare luogo tra i neonati a fenomeni di cannibalismo in caso di condizioni ambientali sfavorevoli. Sebbene le sue carni risultino di grande qualità, soprattutto per l'industria della conservazione, l'utilizzo di questa specie negli allevamenti risulta essere notevolmente più ridotto di quello di *H. aspersa* a causa soprattutto dei lunghi tempi necessari al raggiungimento della maturità sessuale. D'altra parte,



7. *Eobania vermiculata* (Müller 1774)

attualmente la specie risulta essere sempre più minacciata dalle distruzioni dei suoi habitat originali e dall'attività agricola intensiva, tanto che in molte regioni sono state prese misure per limitarne la raccolta a uso commerciale. Per avere un kg di carne di *H. pomatia* occorrono 55-60 individui spurgati.

Eobania vermiculata (Müller, 1774), volgarmente conosciuta in Toscana e nel Lazio come “rigatella” e ingrediente gastronomico fondamentale delle antiche feste di San Giovanni a Roma e di Santa Rosalia a Palermo, ha una conchiglia robusta ma più depressa di quella delle due specie precedentemente descritte. Questa, infatti, ha un diametro di 2,1-3,5 cm e un'altezza di 1,4-2,5 cm e si presenta generalmente con bande ben evidenti di colore marrone scuro o rossastro e di ampiezza molto variabile, spesso interrotte da un reticolo e da sottili strie di colore biancastro; anche il peristoma è biancastro, mentre l'ombelico si presenta chiuso nelle forme adulte (fig. 7). Tipica della regione mediterranea, isole comprese, ove popola habitat costieri e collinari sia naturali sia antropizzati, la specie è stata introdotta anche in Australia, ove è conosciuta

come “chocolate-band snail”. In Italia l'elicicoltura di *E. vermiculata* non è molto praticata, in quanto la sola raccolta per l'allevamento comporta costi doppi o tripli nei confronti delle specie precedenti, più pesanti e di taglia più grande. Per avere un kg di “rigatelle”, infatti, occorrono quasi 250 individui spurgati. Nei nostri mercati, comunque, essa è reperibile durante tutto l'anno, importata generalmente dalla Grecia e/o dal Marocco.

Prima di cucinarle

Prima di cucinarle, le chioccioline vanno soggette a un'opportuna preparazione, suddivisa nelle tre fasi di “spurgatura-asciugatura”, “lavaggio” e “precottura”.

La prima fase di “spurgatura-asciugatura” rappresenta un'operazione fondamentale per la conservabilità del prodotto e per la sua qualificazione igienico-sanitaria. Essa consiste in un periodo, della durata di circa due settimane, in cui le chioccioline da allevamento vengono semplicemente lasciate prive di cibo in strutture aerate e in grado di assorbire il massimo dell'umidità. Qualsiasi residuo vegetale ingerito dalle chioccioline viene così eliminato, bloccando ogni processo di fermentazione batterica al loro interno. In tal modo si hanno chioccioline ancora vive ma perfettamente pulite, con una perdita di circa il 30% del peso originario.

La seconda fase di “lavaggio” consiste nell'immergere le chioccioline per almeno un quarto d'ora in acqua fredda satura di sale e con un po' di aceto.

Nella terza fase di “precottura”, le chioccioline vengono bollite o lessate per circa 45 minuti.

Terminata la precottura, le chioccioline vengono generalmente scolate e mescolate in un ragù preparato a parte e cucinate a fuoco lento per circa due ore. A questo proposito, comunque, ciascuna regione ha la propria tradizione gastronomica.

La parola all'immagine



Punta Falcone presso Piombino
con l'Isola d'Elba sullo sfondo
(foto "Il Graffio", Follonica)

Alla scoperta delle antiche cave di allume nel Parco Interprovinciale di Montioni

Gruppo fotografico "Il Graffio", Follonica







Schede naturalistiche



Golfo di Follonica, pino sradicato
dall'azione del mare in località Sterpaia
(foto "Il Graffio", Follonica)

Un anno a Bosco Rocconi

Roberta Margiacchi

WWF Oasi c/o Oasi WWF Bosco Rocconi - 58053 Roccalbegna (Grosseto).
boscorocconi@wwf.it

Una valle disegnata da un mosaico di siepi, qua e là piccoli appezzamenti coltivati a vigneto o uliveto, un pendio che verso sud diventa improvvisamente più aspro e si copre di un manto boscoso, imponenti pareti verticali di roccia calcarea dominanti il corso del Fiume Albegna e del suo affluente Rigo: così mi è apparsa, giungendo da nord, la riserva naturale di Bosco Rocconi che racchiude l'omonima oasi WWF.

Mentre il vento di tramontana spazza via ogni nuvola e il sole illumina la spoglia campagna di un freddo febbraio, percorro l'impervia strada sterrata che da Roccalbegna porta al parcheggio dell'oasi e mi perdo in una serie di riflessioni. Le corrette ma scarse informazioni raccolte su internet non mi hanno preparato a questa nuova sensazione. Se il paesaggio venisse trasformato in un'immagine fotografica diventerebbe compito arduo collocarla in un preciso spazio temporale, in quanto nessuna strada asfaltata o linea elettrica o costruzione in stile architettonico recente mi sarebbero d'aiuto nell'impresa. Per un istante mi trovo immersa in una dimensione indefinita, quasi in un affresco di Ambrogio Lorenzetti. Il rumore di un trattore in lontananza mi riporta alla realtà, ma è solo un attimo, poi a parlare sono solo il fruscio del vento e il gorgogliare del Fiume Albegna.

La strada entra nel bosco e termina al parcheggio dell'oasi. Sono in anticipo e aspetto al cancello la guida del WWF. Le querce portano ancora alcune foglie morte, ma già i cornioli fioriti appaiono come nuvole gialle tra i rami nudi, mentre il terreno è tappezzato dalle minuscole macchie viola e azzurrine di crochi e scille.

Avevo già da tempo l'idea di visitare questa zona, anche su suggerimento di amici; poi, presa da continui impegni quotidiani, ho sempre rinviato. Ma ora eccomi qua, pronta a godermi questa passeggiata. Arriva la guida, seguita da un gruppetto di visitatori. Saluti preliminari e facciamo il biglietto all'interno di una casetta di legno piena zeppa di reperti raccolti nell'oasi: nidi, fossili, borre, crani, penne... persino un favo di calabroni, una sorta di insolito tesoro accumulato in anni di perlustrazioni.

Parliamo della nascita dell'oasi, avvenuta nel 1995 a seguito dell'acquisto da parte del WWF Italia (grazie a una raccolta di fondi denominata *Operazione Beniamino* e operata in gran parte delle piazze d'Italia) di 130 ettari di bosco nel territorio compreso tra i comuni di

Roccalbegna e Semproniano, e dell'istituzione nel 1998 della Riserva Naturale Regionale, abbracciante un'area totale di 341 ettari.

Si parte. Un sentiero stretto e ripido si apre nel folto del bosco e scende tortuoso lungo il fianco della valle; tra i rami spogli si scorgono in lontananza le anse dell'Albegna, in un tratto pianeggiante e quasi placido, brillare illuminate dal sole. Tutt'intorno cerri, ornielli, cornioli, peri e meli selvatici e qualche sorbo ciavardello. Non ci sono alberi di grandi dimensioni in questa parte dell'oasi e la guida racconta dell'ultimo taglio risalente al 1985. I commenti di ordine scientifico, come il riconoscimento di endemismi e ruoli ecologici, si mescolano alla storia dell'uomo che da sempre modella ogni paesaggio e ne usa gli elementi. I grandi fiori verdi dell'elaboro di Boccone spiccano sul nostro cammino, caratterizzano i versanti più freschi e per secoli sono venuti in soccorso ai contadini come rimedio contro le malattie del bestiame e degli esseri umani. Sorge spontaneo pensare che quanto oggi rappresenta un piacevole luogo di svago, è stato per tanti anni teatro di fatiche quotidiane e di duro lavoro; ad esempio la radura che si apre davanti a noi, un magnifico prato regno di istri e caprioli, dove sbocciano decine di specie erbacee spontanee, fu un tempo rubata al bosco per essere coltivata a frumento. La guida lo chiama "prato delle orchidee" e ne racconta i colori che assumerà nei prossimi mesi, facendo immaginare il rosa intenso della fioritura dell'*Orchis laxiflora*. Fin da subito ho voglia di tornare.

Continuiamo a percorrere il sentiero didattico, costellato di bacheche con vari reperti testimonianti la complessità della vita del bosco che noi, visitatori per un giorno, non riusciremmo a cogliere.

Improvvisamente il paesaggio si apre sui "rocconi", giganteschi pinnacoli verticali di roccia calcarea che sovrastano la vallecchia del Torrente Rigo. Qua e là macchie di verde scuro fatte da lecci e filliree abbarbicati quasi come per miracolo ai costoni rocciosi; piccoli terrazzi e anfratti della superficie irregolare della roccia rappresentano il regno indisturbato dove in primavera nidificheranno i rapaci. E, proprio mentre siamo con il naso in su, un aspro e ripetuto *kiiii kiiii* riecheggia nella stretta valle. Lontanissimo contro il cielo si staglia il volo potente e veloce del falco pellegrino; sembra stringere qualcosa tra gli artigli. Lo seguiamo volare su e giù per poi dirigersi verso un posatoio, dove scorgiamo un



1. Coppia di falchi pellegrini in volo (foto L. Moscatelli)

altro falco ad attendere, leggermente più massiccio del primo (fig. 1). La guida riconosce in quest'ultimo la femmina della coppia; quindi quello che ora sappiamo essere il maschio si ferma solo qualche secondo e riparte. Stavolta gli artigli sono vuoti. È già il corteggiamento e la preda è stata lasciata come omaggio, un po' come per noi un mazzo di rose. Però! Pratici e concreti questi falchi pellegrini!

Ormai siamo quasi arrivati al fiume, il sentiero scende sempre più ripido e ci conduce al punto di confluenza del Rigo con l'Albegna. Il rumore è quasi assordante e copre le nostre voci. Sulla riva si leggono ancora i segni della recente piena: resti di vegetazione sono rimasti impigliati nei rami fin sopra alle nostre teste e sui salici delle rive, che, seppure prostrati, resistono all'impeto delle acque. È impressionante osservare come la potenza del torrente, in un logorio millenario, abbia scavato le rocce sedimentarie fino a creare questa stretta valle e come le lame verticali del calcare selcifero affioranti sul greto del fiume siano anch'esse destinate a venire corrose o spezzate dalla furia delle acque. Ed è altrettanto sorprendente poter leggere nelle rocce, derivanti da antichi fanghi marini e costellate di ammoniti fossili, lo scorrere del tempo.

Un lampo color porpora ci distoglie: quasi invisibile perché grigio sulla parete grigia, un picchio muraiolo (fig. 2) perlustra le fessure alla ricerca di ragni e insetti, allargando ritmicamente le ali rotondeggianti dall'interno rosso intenso.

Seguiamo con lo sguardo verso sud lo scorrere delle acque ancora racchiuse all'interno della riserva naturale: da un lato un costone ripido ricoperto da bosco, dall'altro il verde declivio di un prato e in alto, davanti a noi, il minuscolo borgo medievale di Rocchette di Fazio, un tempo a guardia della valle e dell'antica "via del sale", già percorsa più di mille anni fa per raggiungere la costa.

Risaliamo verso l'ingresso, accompagnati dal canto di



2. Picchio muraiolo intento a cacciare insetti lungo le pareti calcaree del Torrente Rigo (foto L. Moscatelli)

codibugnoli e cince bigie. Lungo il percorso i licheni, appiattiti sul legno o pendenti a ciuffi dai rami, rischiarano i tronchi scuri degli alberi richiamandoci reminiscenze scolastiche che li associano addirittura alla tundra artica: "muschi e licheni" ci diceva la maestra... Ne notiamo uno dalla forma insolita, come una grande foglia con nervature arrotondate, che copre parte di una ceppaia; la guida ce lo indica come *Lobaria pulmonaria*, una specie poco frequente.

È tempo di salutarci. La guida ci invita a tornare e ci informa dei programmi futuri dell'oasi: visite tematiche, iniziative di volontariato e *trekking*. Ci scambiamo gli indirizzi mail, un modo per venire informati in maniera puntuale e continuare a condividere la vita di questo luogo.

Il cielo livido minaccia pioggia, non è così che avevo immaginato il mio ritorno a Bosco Rocconi, soprattutto non in maggio, che credevo caldo e assolato. Ho deciso di trascorrere qui alcuni giorni e partecipare ai preparativi per l'imminente *Giornata delle Oasi*, una manifestazione organizzata in tutta Italia dal WWF che per l'occasione aprirà gratuitamente ai visitatori offrendo loro di partecipare a varie iniziative: dalla visita guidata a conferenze con approfondimenti tematici, a laboratori per bambini, a esposizioni artigianali, alla pittura e alla fotografia naturalistica. Aspetto insieme alla guida una scolaresca oggi in visita.

Il paesaggio è molto cambiato: gli alberi esibiscono le giovani foglie e le ginestre iniziano a coprirsi di giallo; qua e là cespugli di rosa selvatica densi di delicati fiori rosa. L'aria è colma di un odore dolciastro.

I ragazzi scendono dal pullman affamati e addentano veloci i loro panini, senza aspettare di sedersi nell'area di sosta dell'ingresso. Si guardano intorno curiosi e ridacchiano tra loro: la possibilità di pioggia sembra rendere la gita più avventurosa. Arriva il momento di fare silen-



3. *Orchis papilionacea* (foto D. Bonciani)

zio e iniziare. La guida chiede loro di disporsi in cerchio per scambiare esperienze passate e aspettative future per la giornata insieme. Iniziano una serie di attività didattiche che proseguiranno per tutto il percorso.

Mentre li osservo penso a queste generazioni sempre più affascinate dalla tecnologia e immerse in un mondo virtuale bidimensionale, spesso noncuranti e acritiche verso ciò che le circonda. Eccoli ora esortati a toccare, annusare, osservare: una miriade di stimoli li coinvolgono senza sosta. È uno spettacolo cogliere la sorpresa nei loro occhi quando troviamo nell'incavo di un tronco una salamandrina dagli occhiali o scorgiamo una coronella di Riccioli. Credo che nessuna lezione rimarrà nitida nel loro ricordo come quest'esperienza. La conservazione dell'ambiente è strettamente connessa alla fruizione, opportunamente regolamentata, e al valore didattico che ne consegue; lasciata ormai alle spalle la vecchia concezione della "campana di vetro", un territorio protetto deve poter entrare nel vissuto, in modo da rendere compresa e condivisibile l'importanza della salvaguardia di un bene necessariamente percepito come collettivo e irrinunciabile.

Così le oasi WWF diventano laboratori di educazione ambientale in ausilio e a completamento delle attività scolastiche, inserendosi quindi nel contesto sociale di un territorio.

Inizia a piovere proprio sulla salita in prossimità del parcheggio; i ragazzi si scatenano in una corsa verso il pullman già pronto ad aspettarli. Spettinati e con le guance accaldate ci salutano sorridendo.

Il sole, già alto sebbene siano solo le sette e mezza di mattina, inonda la mia camera appena apro le imposte. Dopo una ricca colazione parto con la guida a bordo del fuoristrada; oggi è giornata di lavoro nell'oasi e bisogna potare la vegetazione sui sentieri. Abbiamo appuntamento all'ingresso con una studentessa che deve compiere ricerche floristiche per la tesi di laurea. Partiamo tutti e tre a piedi, noi armati di forbici e seghetto, lei di buste di plastica e fotocamera. Preleverà campioni botanici, ma fotograferà soltanto le specie già determinate e rare. Ormai esperta del luogo dopo mesi di ricerche, ci accompagna per un po' per poi lasciarci proseguire. Fa caldo e, nelle radure del bosco, vola una miriade di farfalle. La

4. *Orchis simia* (foto D. Bonciani)



guida mi indica una zerinzia, un podalirio, un icaro, una cleopatra, un'aurora. Affascinata sia dai nomi che dai colori accesi, immagino questo luogo come una sorta di paradiso per gli insetti. Infatti l'oasi si inserisce in un territorio caratterizzato da un sistema agricolo tradizionale, che non ha mai impiegato sostanze chimiche, fitofarmaci o pesticidi, e da una bassissima densità di popolazione, entrambi fattori che concorrono a delineare non soltanto il paesaggio, ma anche una straordinaria conservazione ambientale. La guida mi spiega però che non è mai stato compiuto uno studio entomologico accurato, anche se è nota la presenza di alcune specie rare.

Mentre percorriamo il sentiero scorgo degli strani segni gialli sulle cortecce: alcuni alberi sono stati numerati. La guida mi spiega che si tratta di un monitoraggio forestale a lungo termine per il rilevamento dei cambiamenti climatici (CON.ECO.FOR.) che vede la collaborazione del WWF con il Corpo Forestale dello Stato: gli alberi segnati vengono esaminati ogni anno nello stesso periodo, rilevando ogni alterazione in base a un preciso disciplinare.

La ricerca scientifica è proficua, soprattutto se con-

dotta nelle aree protette e nelle oasi WWF che possono contare sulla presenza costante di personale con una specifica conoscenza del luogo e quindi pronto a cogliere ogni mutamento. L'esame di specie rare e di ecosistemi a rischio, oltre a fornire ulteriori elementi di studio e monitoraggio delle condizioni ambientali, permette adeguati interventi di conservazione e valorizzazione del patrimonio naturale.

Ci concediamo una sosta al prato, ora è davvero il prato delle orchidee! Appare come una grande unica macchia rosa scuro, composta da numerosi esemplari di *Orchis laxiflora*, *Orchis morio*, *Orchis papilionacea* (fig. 3) e *Orchis simia* (fig. 4). Sul limitare del bosco una testuggine di Hermann scappa a nascondersi.

Scorgiamo un movimento sul grande pero selvatico: un nido artificiale posizionato per ospitare assioli è stato invece occupato da un picchio muratore, il quale ha opportunamente adattato il foro d'ingresso restringendolo con il fango. Dopo un breve volo indugia un attimo posandosi a testa in giù, per poi entrare veloce nel nido con l'imbeccata per i piccoli.

Sentiamo un suono quasi flautato sopra di noi: alto



5. Cavità prodotta dall'erosione del Torrente Rigo in prossimità della sua confluenza con il Fiume Albegna; quando è occupata dall'acqua del torrente, essa si presenta come una "pozza" dove la vita è rigogliosa (foto R. Margiacchi)

nel cielo scorgiamo il volo elegante del biancone a caccia di serpenti.

Proseguiamo salendo all'osservatorio, un piccolo capanno ancorato alla roccia a picco sul torrente. Dopo una breve attesa ecco le evoluzioni ancora incerte di tre giovani di falco pellegrino che da poco hanno lasciato il nido. Giocano rincorrendosi fino quasi a scontrarsi, poi si posano sulla roccia davanti a noi. Riordinano le penne con il becco e scrutano di tanto in tanto il cielo in attesa dei genitori che arriveranno con il cibo. Poco sotto di loro, in una piccola nicchia, c'è il nido del passero solitario. Arriva il maschio della coppia, il blu intenso del piumaggio spicca illuminato dal sole accanto ai fiori rosa della *Centaurea dehusta*.

Sono già trascorsi due mesi, un luglio siccitoso ha riarso i pascoli che incorniciano Bosco Rocconi. Io e la guida cerchiamo riparo all'ombra delle querce dell'ingresso aspettando una comitiva di famiglie in leggero ritardo. Eccoli arrivare, muniti di zaini, borracce e cappelli. Il sole è già alto e le voci del bosco sono ora silenziose. Il gruppo si snoda lungo lo stretto sentiero accompagnato dal canto del rigogolo. Un grosso insetto corre veloce su un tronco, le elitre iridescenti luccicano al sole: è il *Calosoma sycophanta*. Lo catturiamo delicatamente per osservare le potenti mandibole che fanno strage di bruchi, ma lui si spaventa e ci inonda con un forte odore quasi di canfora. Procediamo scendendo verso il fiume. La guida chiede di fare silenzio e

6. Piccole vasche incise in una stretta gola del Fiume Albegna, nelle cui limpide acque è possibile bagnarsi (foto R. Margiacchi)



ascoltare un richiamo poco sopra di noi: nascosto dalla vegetazione uno sparviere lancia il grido di allarme. Il nido non è lontano. Scendendo giù per il ripido sentiero verso il Rigo si percepisce in maniera evidente una sensazione di frescura: la guida ci racconta che, data la forma stretta della valle, ci troviamo davanti a un fenomeno di inversione termica, cioè caldo in alto e fresco nel fondovalle. Ne è testimonianza un rovesciamento delle fasce vegetazionali, che vede la presenza di piccoli nuclei di faggio e di acero di monte presenti a soli 300 metri sul livello del mare.

Il gorgogliare sommesso ci indica che siamo quasi arrivati al fiume. La compagnia si allarga intorno alla pozza d'acqua (fig. 5). C'è una natrice in caccia sotto il

pelo dell'acqua. Ignara della nostra presenza, cattura un piccolo barbo e cerca di ingoiarlo appoggiandolo ai massi sul fondo. I bambini fanno il tifo per il pesce, la natrice finisce per accorgersi della nostra presenza e lascia la preda che guizza via veloce. Nuotando mestamente il serpente si allontana verso valle lasciando la pozza a nostra disposizione. L'acqua è fresca e limpidissima, indugiamo un attimo con i piedi in bagno prima di immergerci completamente e subito decine di avannotti arrivano a solleticarci ammassandosi sulla nostra pelle. La possibilità di fare il bagno in un fiume è purtroppo sempre più rara. Fortunatamente in questo tratto del fiume (fig. 6) l'acqua è pulitissima, ne è testimonianza la presenza di larve di macroinvertebrati come le

numeroso frigate. Credo che quest'esperienza rivesta anche un valore educativo inducendo noi visitatori a una riflessione sull'importanza della conservazione anche come stimolo a comportamenti ecosostenibili nel nostro quotidiano.

Pranziamo asciugandoci al sole nelle pietre candide dell'alveo ormai quasi prosciugato. Le rocce sulle quali scorre l'Albegna sono interessate da fenomeni di carsismo, per cui a tratti la portata del fiume si riduce e le acque scompaiono nel sottosuolo, per poi risalire più a valle con fenomeni di risorgiva come nel caso della nostra pozza.

Mentre gli adulti si godono la quiete del luogo, la guida, quasi una sorta di pifferaio magico, attira i bambini in una breve escursione perlustrando le minuscole pozze del Rigo in cerca di insetti acquatici, larve e granchi di fiume.

Il giorno seguente partecipo a un appuntamento insolito: è prevista una visita guidata notturna. Un piccolo gruppo, una decina di persone circa, si riunisce nella piazza di Roccalbegna e la guida fa le ultime raccomandazioni: silenzio, niente torce elettriche, niente abiti fruscianti. Raggiungiamo l'oasi all'imbrunire, il buio cala veloce rischiarato da una luminosa luna piena. Percorriamo il sentiero in silenzio calpestando le ombre delle fronde, ci fermiamo in una radura e ci sediamo in ascolto delle voci del bosco. Nel buio c'è un silenzio assoluto, quasi assordante. Non una luce nella valle, né un rumore che indichi una presenza umana.

Verso i costoni rocciosi inizia il grido ripetuto dell'alocco, poi, più lontano, il soffio di un barbagianni e lo stridere di una civetta. Ma un rumore di foglie calpestate ci fa sussultare: è vicinissimo! Nessuno si muove, mentre il rumore avanza verso di noi; sembra indicare

la presenza di un grosso animale, tanto è forte. Ecco, si avvicina. Ma dov'è? Cos'è? Compare un riccio, solleva il musino ad annusare l'aria, indugia un po' perplesso e riparte indaffarato. È vero che il buio offre strane percezioni. Poi il trotterellare di un capriolo e, lontano, un rumore quasi meccanico, un *trrrr* ripetuto e modulato: è il succiacapre a caccia di falene. E poi ancora volpi, cinghiali, assioli, tutto è celato dal buio e dal fogliame. Sempre in silenzio torniamo verso le auto. Ora produrre un rumore ci sembra quasi una profanazione.

È autunno, la nebbia ha divorato il Monte Labro e le rocce a nord di Roccalbegna. Contro il cielo plumbeo spiccano i colori accesi dei boschi che interrompono i pascoli lungo la valle. Ritrovo l'oasi, i sentieri ormai conosciuti, ora costellati dall'arancio degli aceri, il porpora dei ciavardelli, il rosa degli ornielli. Le querce sono ancora verdi e ai loro piedi una miriade di ciclamini illumina il sottobosco. Assaporo il silenzio e ripercorro col pensiero quest'anno che sta terminando. Le mie visite si sono ripetute a intervalli quasi regolari, permettendomi di cogliere il trascorrere del tempo e delle stagioni con un ritmo naturale che credevo perduto. Spesso sorpresa ed emozionata, mi sono avvicinata a un mondo naturale prima insospettato, affascinata dalle perfette interazioni che lo regolano e, partendo dalla gradevole osservazione di un paesaggio, sono arrivata a scoprire microcosmi inattesi.

Una timarca, un piccolo coleottero dai riflessi blu, percorre lenta la lettiera di foglie ai miei piedi. La raccolgo, ma nonostante la delicatezza si spaventa e mi spruzza la mano di emolinfa rossa simulando la propria morte. Dapprima immobile, poco a poco riprende ad animarsi e a camminare tra le mie dita. L'ennesima sorpresa.

Viaggiando per musei



Punta Falcone presso Piombino,
con in primo piano piante di Cisto villosa (*Cistus incanus* L.)
e di Barba di Giove (*Anthyllis barba-jovis* L.)
e, sullo sfondo, i caratteristici scoglietti
(foto "Il Graffio", Follonica)

I musei delle Terre di Siena

Fondazione Musei Senesi, via delle Cerchia, 5 - 53100 Siena.
www.museisenesi.org

Sono ben 43 i musei diffusi nei territori della provincia di Siena che partecipano alla Fondazione Musei Senesi: un unico sistema museale che raduna istituti dedicati ai diversi aspetti del patrimonio culturale (arte e archeologia, antropologia ed etnografia, scienza e natura), al fine di preservare e valorizzare al meglio e in modo unitario le meraviglie di una terra che guarda al futuro nella consapevolezza della storia straordinaria di cui è portatrice. Nasce così una rete capillare di musei che accompagna alla scoperta delle diverse anime dei territori che costituiscono la provincia di Siena: la Val d'Elsa, il Chianti, Siena, le Crete, la Val di Merse, la Val d'Orcia e il Monte Amiata, la Val di Chiana. Sette terre in una per un vero e proprio museo a cielo aperto fatto di preziose testimonianze archeologiche, di straordinari capolavori artistici, di saperi, usi e costumi delle comunità che li hanno determinati, in un dialogo continuo tra uomo e natura che plasma e modella da secoli la quinta essenza della Toscana.

Numerosi sono i musei scientifici e tecnologici nei quali si conservano prestigiose collezioni e si narrano i saper fare dei diversi mestieri d'un tempo che ancora sopravvivono nei nostri territori: dalle raccolte del Sistema Museale Universitario, attraverso le quali si ripercorrono le vicende della ricerca scientifica a Siena dagli albori dello studio a oggi; fino ai musei che raccontano la vita della miniera, la lavorazione della terracotta, delle spezie, dell'olio, del cristallo, le antiche tradizioni del bosco e della campagna; e ancora lo sviluppo di energie rinnovabili in una prospettiva ecosostenibile.

Siena

Museo di Storia Naturale - Accademia dei Fisiocritici

L'Accademia dei "Fisiocritici" (giudici della natura) fu fondata nel 1691 da Pirro Maria Gabbrielli, docente di Medicina e Botanica nell'Ateneo senese. Il fine era lo studio dell'origine dei fenomeni naturali attraverso una verifica sperimentale. Considerata una delle società culturali più famose d'Europa, tra i suoi soci ha avuto scienziati come Carlo Linneo, Joseph-Louis Lagrange, Alessandro Volta e Louis Pasteur.

Il nucleo originario delle collezioni naturali, oggi conservate nel Museo (fig. 1), risale alla metà del XVIII secolo. Particolarmente significative sono la raccolta "Paolo Mascagni", con i preparati anatomici realizzati con la tecnica dell'iniezione di mercurio metallico nei vasi linfatici; la collezione "Francesco Valenti-Serini", una vasta raccolta di modelli in terracotta di funghi; la collezione "Francesco Spirito", con preparati anatomici trattati con processo di pietrificazione.

Notevole la collezione zoologica, in cui spiccano i mammiferi marini, raccolti dal 1970 a oggi lungo le coste regionali, e quella geologica, consistente soprattutto in campioni del territorio della Toscana meridionale.

Nell'Archivio storico si conservano documenti

manoscritti relativi alla vita e alla storia dell'Accademia e della scienza senese.

SISTEMA MUSEALE UNIVERSITARIO (SIMUS)

I musei dell'Università di Siena rappresentano il risultato tangibile di secoli di studio e di ricerca nel territorio senese. Costituiscono una *summa* dell'evoluzione del pensiero non solo scientifico dal medioevo ai giorni nostri attraverso collezioni di strumenti, reperti, modelli didattici, cimeli e documenti di archivio. Grazie all'impegno appassionato di ricercatori e personale universitario, tali realtà museali costituiscono ancora oggi un efficace strumento didattico per l'insegnamento e la divulgazione del sapere.

Archivio e percorso storico di Ateneo

L'Archivio storico dell'Università di Siena (fig. 2) conserva la documentazione prodotta e acquisita dall'ateneo dal 1560 al 1955, che consente sia di comprendere lo sviluppo avuto dall'università in questo lasso di tempo, sia di ricostruire le biografie dei principali personaggi che vi hanno insegnato o studiato. L'archivio è inserito in un "percorso storico" costituito da una serie di oggetti e documenti che segnano gli episodi principali della vita dell'università.



1. Il cortile del Museo di Storia Naturale Accademia dei Fisiocritici a Siena



2. Frontespizio della *Riforma del Generale Studio della Città di Siena*, conservato nell'Archivio e Percorso Storico di Ateneo



3. Il deposito organizzato del Centro Servizi di Ateneo

Centro Servizi di Ateneo Tutela e Valorizzazione Antico Patrimonio Scientifico Senese (CUTVAP)

Il Centro Servizi di Ateneo denominato CUTVAP (fig. 3) nasce con lo scopo primario della salvaguardia delle collezioni storico-scientifiche dell'ateneo senese e ha compiti di recupero, inventariazione, ricerca e valorizzazione dei beni culturali in ambito scientifico. Attraverso una pluriennale attività di ricerca sono stati recuperati beni di varia tipologia che vanno dallo strumento chirurgico al modello didattico in cera, dalle



4. Progetto di Agostino Fantastici per una *Specola astronomica per la Regia Università di Siena* (1822).



5. Boccale in maiolica arcaica proveniente dagli scavi dello spedale Santa Maria della Scala realizzati dal Dipartimento di Archeologia

tavole anatomiche alla vetreria da laboratorio, dall'antico microscopio alle grandi attrezzature mediche del Novecento e che costituiscono oggi le numerose collezioni di strumentaria scientifica organizzate secondo il modello del "deposito organizzato". La maggioranza degli strumenti proviene dal mondo sanitario, in particolare dall'ospedale Santa Maria della Scala di Siena, da cliniche e dipartimenti universitari, da enti esterni e da privati. Il Centro quindi eroga servizi relativi alla tutela del bene culturale in ambito scientifico e a tal fine nella propria sede ospita una biblioteca di settore (storia della scienza, storia della medicina, museologia scientifica), un piccolo laboratorio di restauro e un gabinetto fotografico.

Collezione universitaria degli strumenti di fisica

Una delle più belle e ricche collezioni storiche degli strumenti scientifici dell'ateneo senese è sicuramente quella di fisica (fig. 4). I suoi quasi 400 strumenti, l'omogeneità cronologica e l'ottimo stato di conservazione ne fanno una raccolta prestigiosa per lo storico delle scienze fisiche. La collezione ben testimonia la storia della disciplina: evoluzione e ricerca, percorso didattico all'interno dell'università di Siena fin dalle origini quale insegnamento della facoltà medica, per poi

passare negli anni sessanta anche alla neofacoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.

Collezioni di preistoria, archeologia classica, archeologia medievale

Le collezioni di archeologia attualmente in deposito presso le sedi del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti sono costituite dai reperti rinvenuti durante le attività di ricerca sul campo (scavi e ricognizioni) e da raccolte didattiche, pannelli, riproduzioni e repliche (fig. 5).

L'entità dei reperti conservati nei depositi raggiunge ormai alcune migliaia di oggetti. Il patrimonio comprende collezioni tematiche: manufatti in pietra, ceramiche, metalli e vetri, monete, affreschi, reperti faunistici, paleobotanici e antropologici. Le collezioni più consistenti sono relative alle raccolte delle produzioni ceramiche di varie civiltà del mondo antico, dalla preistoria al Rinascimento, provenienti soprattutto dalla Toscana, in quanto esse si collegano strettamente all'attività di ricerca che si svolge principalmente nella regione.

Il museo-laboratorio (Museolab) della città di Grosseto è allestito all'interno della sede distaccata del Dipartimento, quindi ne è parte integrante dell'attività di ricerca e di didattica.



6. Particolare di uno scheletro con le indicazioni delle inserzioni muscolari, tuttora utilizzato come modello di studio, presso il Museo Anatomico "L. Comparini"

Museo anatomico "Leonetto Comparini"

Il Museo anatomico senese (fig. 6) nasce nel 1860 negli ex istituti biologici, allora situati presso il cimitero del Laterino. Trasferito nel 2001 al polo scientifico universitario di San Miniato conserva un'importante raccolta osteologica, antichi arredi scientifici ottocenteschi come l'istoteca, il "cassettone" delle tavole didattiche e un'antica cappa da laboratorio. Due grandi mobili conservano numerosi modelli anatomici in cera, alcuni preparati anatomici essiccati con l'iniezione del mercurio metallico nei vasi linfatici secondo la tecnica operata da Mascagni. Nel museo è collocata anche una collezione craniologica ottocentesca che riveste per provenienza e quantità un interesse scientifico internazionale. Affiancano il museo due aule, attualmente utilizzate dagli studenti universitari per lo studio dell'anatomia macroscopica e microscopica.

Museo botanico

L'orto botanico (fig. 7) si trova all'interno della cinta muraria di Siena, nella valle che si apre tra Porta Tufi e Porta San Marco. Il percorso inizia dall'area antistante il Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", con due terrazze artificiali in cui sono presentate le piante officinali. Si accede poi al parco con



7. Esemplare di *Nelumbo nucifera*, il fiore di loto, visibile nell'orto botanico di Siena

le piante indigene della Toscana centro-meridionale. Un'antica serra di fine Ottocento presenta le specie tropicali, mentre "il podere", area che si estende fino alle mura, è coltivato con viti e olivi, in un contesto che conserva l'aspetto paesaggistico della città. Nella parte alta del podere è stato realizzato un giardino roccioso, mentre più a valle è stato ricostruito un felceto attraverso una scarpata con stillicidio. Le acque confluiscono quindi in un piccolo stagno ricco di idrofite. Accanto a esso si trova il lago, uno spazio in cui sono state allestite due piccole vasche per la riproduzione e conservazione di piante acquatiche a rischio di estinzione nella Toscana meridionale, come la ninfea bianca. In locali a temperatura e umidità controllate si conserva un erbario che raccoglie, cataloga e conserva oltre 80.000 campioni.

Museo Nazionale dell'Antartide "Felice Ippolito"

L'Antartide (l'Antarktikòs del mito greco), *Terra Australis Nondum Cognita* sino al XVI secolo, diventa *Terra Cognita* solo nel XX secolo, prima con la "fase eroica" delle spedizioni e poi a seguito dell'Anno Geofisico Internazionale (1957-1958). Le regioni polari – e l'Antartide in particolare – giocano un ruolo fondamentale nella regolazione dell'intero sistema terra,



8. Scorcio del corridoio centrale del Museo Nazionale dell'Antartide "F. Ippolito"

influenzando il clima, gli ecosistemi e la comunità dei viventi, incluso l'uomo. L'esposizione del museo (fig. 8) affronta le tematiche storiche, politiche e scientifiche dell'Antartide attraverso un percorso che comprende reperti, immagini, materiale bibliografico e cartografico, sistemi multimediali con lo scopo di offrire al sistema educativo e al cittadino uno strumento di informazione, conoscenza e riflessione.

Presso il museo sono conservati circa 19.000 campioni di rocce e oltre 1100 meteoriti raccolti in Antartide durante le spedizioni del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide.

La biblioteca raccoglie oltre 5000 titoli pubblicati a partire dal 1840, riguardanti i molteplici aspetti delle regioni polari, dal diritto internazionale alle scienze della terra, dalla conservazione dell'ambiente alla divulgazione scientifica, dalla biologia all'esplorazione.

Museo di Scienze della Terra

Il museo (fig. 9) raccoglie le collezioni petrografiche e paleontologiche esistenti fin dagli anni sessanta nell'Istituto di Geologia e Paleontologia ora divenuto Dipartimento di Scienze della Terra. Nel corso degli anni, le collezioni sono state organizzate e integrate con campioni didattici e museali di fossili, minerali e rocce. L'attuale consistenza dei campioni raggiunge, nel loro insieme, alcune migliaia di unità. Il sistema ostensivo è oggi costituito da diciassette vetrine tema-



9. Particolare di un campione di berillo dal Pakistan, esposto nel Museo di Scienze della Terra

tiche, alcune collezioni petrografiche, carte geologiche e alcune vetrine con strumenti scientifici. Questo sviluppo ha consentito al museo di assumere, oltre alla valenza istituzionale, anche una divulgativa in favore dell'utenza esterna, consistente in una rilevante offerta didattica. Emergono tra le attività l'impegno per la valorizzazione dei siti di rilevante interesse geo-mineralogico e l'attività di ricerca e conservazione del patrimonio mineralogico della Toscana e in particolare della provincia di Siena.

Colle di Val D'elsa

Museo del Cristallo

Il museo (fig. 10) è allestito in uno spazio sotterraneo nell'area un tempo occupata da una delle fornaci dell'ottocentesca fabbrica di Cristallerie e Vetrerie Schmidt o ex vetreria Boschi. Le diverse sezioni ricostruiscono il percorso compiuto dall'industria vetraria colligiana dal 1820, anno dell'impianto della prima fornace, fino alla piena realizzazione del cristallo al piombo avvenuta nel 1963, presentando esempi di produzione preindustriale e reperti vitrei risalenti al XIV-XV secolo. Attenzione particolare è stata riservata agli articoli di design e quelli incisi con le tecniche più antiche. A concludere questa raccolta, simbolo del ruolo che Colle di Val d'Elsa svolge nel mercato internazionale del settore, producendo oggi il 95% di tutto il cristallo d'Italia e quasi il 15% di quello mondiale, c'è una sorta di "foresta di cristallo", interpretazione scenografica delle emozioni evocate dal materiale a cui il museo è dedicato.

Orgia (Sovicille)

Museo Etnografico del Bosco

Una raccolta etnografica che valorizza le testimonianze della vita e del lavoro degli uomini nello spazio forestale (fig. 11). Ricavato da un capanno agricolo, presenta una prima sezione dedicata al bosco e al suo legame con le emozioni; la successiva presenta il territorio, illustra i segni, le tracce degli insediamenti e delle attività produttive, grazie a una collezione di strumenti, fonti orali e immagini di archivio. Una rete di sentieri attrezzata offre ai visitatori un percorso lungo le tracce della presenza contadina, della lavorazione della castagna e delle trascorse professioni legate all'ambiente e alle stagioni: i taglialegna, i carbonai, i vetturini. Il museo propone cinque percorsi ad anello per un totale di 50 chilometri. Alcuni sentieri ospitano progetti d'arte contemporanea. Un laboratorio didattico, allestito nella ex scuola di Orgia a 400 metri dal museo, offre lo spazio e l'attrezzatura per la riflessione e l'elaborazione delle tematiche presentate dal museo e dai sentieri.

San Gimignano

Musei civici di San Gimignano: Spezieria di Santa Fina

La Spezieria di Santa Fina (fig. 12), annessa nel 1253 allo spedale omonimo fondato alla metà del XIII secolo, propone un attento recupero di suppellettili e arredi delle antiche istituzioni sanitarie della città. L'allestimento riproduce l'assetto e gli aromi originali della farmacia, una delle più antiche della Toscana, con la suddivisione nella "cucina", ove si preparavano i medicinali, e nella "bottega", preposta alla vendita dei prodotti, che erano



10. La ricostruzione di una fornace nel Museo del Cristallo di Colle di Val d'Elsa



11. Alcuni strumenti contadini esposti al Museo del Bosco di Orgia



12. La Spezieria di Santa Fina a San Gimignano

contenuti in vasi ceramici e vitrei di altissimo livello qualitativo, riferibili a un periodo compreso fra i secoli XV e XVIII. Sono esposti anche moltissimi medicamenti antichi (come l'olio di scorpione), oltre ad alcuni dei componenti utilizzati nella preparazione delle medicine, come la mandragola o le pietre preziose.

Castelnuovo Berardenga

Museo del Paesaggio

Il Museo del Paesaggio (fig. 13) è stato realizzato non a caso nell'area estremamente significativa di uno dei più tipici paesaggi senesi e italiani, alle estreme propaggini meridionali del Chianti e in prossimità delle Crete senesi. Il percorso espositivo, attraverso pannelli, ricostruzioni grafiche e *maquettes*, immagini fotografiche, filmati e documenti, si propone di favorire la consapevolezza critica di un territorio prestigioso: particolare attenzione merita l'approfondimento sul concetto di paesaggio umanizzato, sulla sua rappresentazione nell'arte, nella letteratura e nel cinema, sulla progettualità condivisa (si pensi alla *Convenzione Europea del Paesaggio* del 2000) e sul concetto di ecosostenibilità.

All'interno del museo è collocata una sezione archeo-

logica che raccoglie i materiali rinvenuti sul territorio, disposti per aree significative, così da esemplificare l'evoluzione storica dei siti dalla protostoria al Medioevo, attraversando l'età etrusca e quella romana, fra i quali spicca il corredo rinvenuto nel tumulo etrusco di bosco Le Pici (VIII-VI secolo a.C.).

Radicondoli

Museo "Le energie del territorio"

Il museo (fig. 14) nasce dall'esigenza di approfondire la conoscenza delle energie rinnovabili, comunicando informazioni scientifiche in maniera semplice e corretta attraverso un processo divertente. Il percorso si propone di valorizzare un territorio che si presenta con caratteristiche ambientali particolari ed è per questo che le visite guidate non si limitano al museo, ma escono alla scoperta dell'ambiente e delle sue energie (in particolare, le mete più interessanti sono la centrale delle Pianacce e le terme delle Galleraie). Pannelli didattici e modelli funzionanti consentono di capire come si può passare da un fenomeno naturale all'energia, sia meccanica sia elettrica, di misurarla e chiarirne le applicazioni. Particolare attenzione è riservata al tema della geotermia, vera e propria ricchezza del territorio di Radicondoli, dove è



13. Laboratori didattici al Museo del Paesaggio di Castelnuovo Berardenga



14. Il percorso interattivo del Museo "Le energie del territorio" di Radicondoli



15. Il telaio in una casa contadina ricostruito nel Museo della Mezzadria di Buonconvento



16. Macchinari e strumenti nel Museo dell'Antica Grancia e dell'Olio di Serre di Rapolano

sfruttata sia come risorsa termale, sia per usi diretti (serre e riscaldamento civile) e per produzione di energia elettrica (prodotta nell'area in quantità sufficiente ai consumi di circa 50.000 famiglie).

Buonconvento

Museo della Mezzadria senese

Nei suggestivi spazi seicenteschi di un antico granaio padronale, di cui si mantengono inalterati gli elementi costruttivi, il museo (fig. 15) documenta e fa rivivere, con un allestimento storico e altamente evocativo, un mondo ormai scomparso che ha caratterizzato, fino agli anni sessanta, il paesaggio e la società toscane. Il percorso, attraverso foto d'epoca, oggetti originali, passi letterari, musiche, filmati e documenti d'archivio, presenta apposite postazioni multimediali e numerosi personaggi parlanti che rimandano alle figure tipiche della fattoria. Al secondo piano è ricostruita l'ambientazione della tipica casa colonica, nella quale si riconoscono oggetti e attività, tipici della tradizione contadina. Tra le attività più importanti ci sono i laboratori didattici, che permettono ai bambini di ripercorrere una delle esperienze fondamentali della cultura storica locale e nazionale.

Serre di Rapolano (Rapolano Terme)

Museo dell'Antica Grancia e dell'Olio

Il museo (fig. 16) documenta la storia delle antiche fattorie fortificate (le "grance"), appartenenti fin dal XIV secolo all'ospedale di Santa Maria della Scala: in questo caso la struttura, risalente al Duecento, ha subito numerose modifiche fino all'alienazione del 1790. Si tratta di un patrimonio storico-culturale importante, che rappresentava il centro di produzione agraria locale capace di assicurare parte dei beni alimentari per l'ospedale senese, come deposito di grano e sede di lavorazione del vino e dell'olio: questa molteplicità di funzioni si rispecchia nel percorso articolato del museo, dove si riannodano simbolicamente i fili di un lungo tratto della storia non solo della comunità montana di Rapolano e Serre, ma di tutta la provincia senese, esposti attraverso strumenti antichi, immagini fotografiche e documenti.

San Giovanni d'Asso

Museo del Tartufo e Centro di documentazione

San Giovanni d'Asso, ponte naturale tra le Crete e la Val d'Orcia, ospita il primo museo italiano del tartufo (fig. 17) entro i suggestivi sotterranei del trecentesco castello, che presenta un importante ciclo decorativo ad affresco. Il percorso comincia con "il mistero del tartufo": tra stregoneria, scienza ed erotismo, si racconta della leggenda che lo voleva originato da un fulmine fino ad arrivare alla definizione scientifica vera e propria. A seguire sono proposte esperienze sensoriali attraverso percorsi che coinvolgono il tatto,



17. Percorso interattivo nel Museo del Tartufo di San Giovanni d'Asso



18. Il suggestivo percorso sotterraneo della Galleria Livello VII nel Parco Museo Minerario di Abbazia San Salvatore

l'udito, il gusto e infine il cosiddetto "odorama", vera giostra dedicata all'olfatto. Alla vista sono poi dedicati contributi multimediali. L'ultima sezione del museo riproduce una mensa contadina e una alto-borghese e

indaga le tecniche di raccolta, conservazione e di impiego in cucina. Chiude il percorso il Centro documentazione in cui si realizzano anche laboratori didattici.



19. I metodi di lavorazione della terracotta al Museo di Petroio

Abbadia San Salvatore

Parco Museo Minerario e Galleria Livello VII

Il museo (fig. 18) è localizzato nell'area mineraria di Abbadia San Salvatore, dove fin dall'Ottocento era attivo uno dei più importanti giacimenti di mercurio del mondo e dove rimangono impianti e attrezzature. Una collezione composta da strumenti di lavoro, documenti, oggetti e fotografie illustra i sistemi di escavazione del minerale ed estrazione del metallo, la vita quotidiana dei minatori, la diversa concezione del mercurio nel tempo: da prodotto alchemico a risorsa strategica mondiale. La Galleria livello VII costituisce invece il primo percorso sotterraneo all'interno del parco, dove sono ricostruiti vari ambienti corredati di utensili, macchinari, manichini che riproducono alcune fasi di lavoro e i fronti di escavazione con terreni contenenti il cinabro, entro un'atmosfera suggestiva di suoni e di odori.

Riferimenti bibliografici

Capresi D., Nerucci S., Maccari L. (a cura di) (2007) - *Musei del Senese. Siena, Chianti, Valdelsa, Crete, Val d'Arbia, Val d'Orcia, Monte Amiata, Val di Merse, Valdichiana. Itinerari culturali in terra di Siena*, Siena.

Detti T. (a cura di) (2006) - *Terra di Musei. Paesaggio arte storia del territorio senese*, Firenze.

La Porta P. (a cura di) (2000) - *Spezieria di Santa Fina*, Siena.

Maciocco G., Mambrini Sa., Mambrini St., Tognarini I. (a cura di) (2001) - *Parco-Museo Minerario di Abbadia San Salvatore*, Siena.

Molteni G. (a cura di) (2001) - *Museo della Grancia di Serre di Rapolano*, Siena.

Molteni G. (a cura di) (2001) - *Museo della Terracotta di Petroio*, Siena.

Petroio (Trequanda)

Museo della Terracotta

Petroio si distingue da molti secoli per la produzione di articoli in terracotta e per quella figura del vasaio che ha assunto il ruolo di custode dell'arte e della cultura di questi luoghi. Il museo (fig. 19) sottolinea l'intreccio attivo tra passato e presente, tra artigianato e design: viene cioè illustrata la continuità tra le tecniche antiche, rese con interessanti ricostruzioni della cava in cui viene estratta l'argilla e della bottega in cui viene lavorata col tipico forno, e dei metodi recenti, con la possibilità di visitare gli impianti dei concai della zona. La storia della lavorazione della terracotta è così inserita all'interno del più ampio panorama dell'artigianato tradizionale senese, rinviando al territorio come grande contenitore anche di antiche terrecotte inamovibili, come i "madonnini" o le gronde di alcune case.

Molteni G. (a cura di) (2008) - *Buonconvento. Museo della Mezzadria senese*, Cinisello Balsamo.

Molteni G. (a cura di) (2008) - *San Giovanni d'Asso. Museo del Tartufo e Centro di Documentazione*, Cinisello Balsamo.

Santini D. (a cura di) (2003) - *Spezieria di Santa Fina. Guida per i ragazzi*, Siena.

Siena. *SIMUS Sistema Museale Universitario Senese* (2010), Cinisello Balsamo.

Vannozzi F. (a cura di) (1998) - *Museo di Storia Naturale Accademia dei Fisiocritici. Sala "Paolo Mascagni"*, Siena.

Vannozzi F. & Manganelli G. (2011) - *Museo di Storia Naturale Accademia dei Fisiocritici*, Siena.

Vecchio B. & Capineri C. (a cura di) (1999) - *Museo del Paesaggio di Castelnuovo Berardenga*, Siena.

Etruri@natura



Un caratteristico strapiombo sul mare
della costa elbana
(foto "Il Graffio", Follonica)

La ri-mediazione digitale nell'esperienza museale

Marco Pozzi

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Formazione, via Laura 48 - 50121 Firenze.
marco.pozzi3@gmail.com

Il carattere di grande innovazione inerente alle nuove tecnologie può configurarsi come una vera e propria rivoluzione nell'ambito delle istituzioni culturali. Il computer ha modificato aspetti importanti sia nell'ambito della ricerca e della conservazione, sia nel settore della divulgazione e della promozione. Le più avanzate tecnologie comunicative hanno favorito la ricerca di nuove forme di apprendimento e un diverso modo di interagire con i contenuti della conoscenza. Questo articolo vuole mettere in relazione le nuove tecnologie con una delle più importanti istituzioni culturali, cioè il sistema museale scientifico considerato nella sua interezza, quindi come esperienza globale e non solo come mera fruizione di contenuti.

Introduzione

Dalla fine del secolo scorso è molto sentita l'esigenza di una riqualificazione strutturale e funzionale del museo per mezzo delle nuove tecnologie. Queste si configurano come uno strumento estremamente interessante e importante per il museo, per tre motivi principali, in quanto:

- offrono la possibilità di stabilire connessioni tra sapere che nel corso del tempo sono stati separati;
- contribuiscono nell'opera di integrazione e riqualificazione della funzione del museo come centro creatore e diffusore della cultura;
- danno l'opportunità alle istituzioni culturali di estendere al massimo la fruibilità del loro patrimonio, facendolo arrivare anche dove e a chi non sarebbe fisicamente possibile.

Ma a cosa ci riferiamo parlando di tecnologie? Si tratta di sistemi multimediali, di sistemi di grafica interattiva tridimensionale in tempo reale, di sistemi per la digitalizzazione e la catalogazione dei beni culturali, oltre alle tecnologie di connessione in rete telematica di larga scala attraverso la condivisione di un protocollo di comunicazione comune. Tutte queste sono destinate ad avere un profondo impatto sul ruolo delle istituzioni culturali, sulla loro logica espositiva e comunicativa e sulle modalità di fruizione proposte al pubblico. Si tratta quindi di fattori che incidono fortemente non solo sul modo di porsi verso il pubblico, ma anche e soprattutto sulla strutturazione interna dell'istituzione: nuove procedure, nuovi macchinari, nuove tipologie di lavoro che inevitabilmente influenzano l'organizzazione in termini di personale, di competenze, di tempi e orari di lavoro.

Il museo di per sé si configura come strumento divulgativo di cultura e di idee. Il connubio con la tecnologia, se sfruttato adeguatamente in termini di strut-

turazione dell'informazione in modo appropriato al mezzo, può sortire effetti estremamente positivi e contribuire a realizzare lo scopo di efficienza culturale che ogni istituzione museale deve porsi come suo obiettivo. Questo anche grazie al fatto che le risorse multimediali offrono numerose opportunità di accesso al sapere che normalmente un museo non potrebbe sfruttare: stiamo parlando di ricostruzioni virtuali, di collegamenti tra opere che sono fisicamente separate e più meno lontane o impossibili da fruire in quanto perdute o distrutte, di accesso alla conoscenza di ingenti quantità di beni culturali senza particolari limiti fisici e temporali.

Le tecnologie possono quindi inserirsi a supporto di ciascuna delle fasi in cui si articolano le attività che ruotano attorno ai beni culturali: conservazione e tutela, gestione, promozione e fruizione. Si tratta quindi per il museo di un'opportunità straordinaria di moltiplicare le possibilità di accesso al pubblico alle proprie collezioni e favorire una diffusione capillare della conoscenza. Inoltre, le tecnologie informatiche – internet in particolare – permettono al pubblico, diffondendo la conoscenza dell'esistenza di un determinato museo, di avere una conoscenza preliminare delle collezioni ed eventualmente stimolarlo a una visita successiva. Questo avviene grazie anche alla collaborazione con istituzioni pubbliche territoriali, come ad esempio il Comune, la Provincia, la Camera di Commercio, enti di promozione turistica che offrono importanti occasioni per aumentare la visibilità dei musei. Ovviamente, il tutto dipende da come viene sfruttato il mezzo e da come viene strutturata la comunicazione: i contenuti, infatti, devono essere riconsiderati in base alla natura del mezzo comunicativo e strutturati in maniera efficiente al fine di massimizzare le strategie comunicative del museo. Inoltre, l'estrema versatilità e le enormi potenzialità delle applicazioni tecnologiche al museo rappresentano, quantomeno potenzialmente, un modo per rivo-

luzionarne la comunicazione e riqualificarne la funzione culturale smentendo il *cliché* ormai diffuso di museo come unità microcosmica perfetta e immutabile, riproponendolo invece nella sua costante opera di evoluzione e di ridefinizione, in base ai mutamenti del contesto in cui si inserisce e di cui vuole essere espressione.

Le nuove tecnologie e l'esperienza museale

L'applicazione delle nuove tecnologie alla fruizione dei beni culturali può essere un ottimo modo per intervenire laddove esistano discrepanze tra le esigenze dell'utenza e il modo di erogazione delle informazioni e talvolta il contenuto delle stesse. È importante, infatti, che il museo si interroghi sui modelli di apprendimento dei pubblici di riferimento e che fornisca una risposta adeguata; in questo senso le tecnologie non solo consentono la selezione dei contenuti da trattare e il relativo grado di approfondimento, ma permettono anche di parlare linguaggi differenti dal tradizionale, incontrando le esigenze di novità e flessibilità tipiche, ad esempio, di un pubblico giovanile.

Nel processo di fruizione le tecnologie si rivelano estremamente importanti per quello che riguarda, ad esempio, la possibilità di contestualizzare le opere delle collezioni e qualificarne di conseguenza l'adeguata rilevanza. In questo modo si va oltre l'espedito comunicativo fine a se stesso, rompendo con la piattezza – e talvolta superficialità – delle tradizionali descrizioni-scheda degli oggetti. Sempre relativamente alla fruizione è importante considerare le ricadute che l'adozione della tecnologia può avere nella gestione dello spazio fisico espositivo. Infatti, l'estrema versatilità e il sempre minore ingombro fisico delle tecnologie possono rivoluzionare la strutturazione e l'utilizzo delle sale museali e la predisposizione dei contenuti per le visite: non più solo lunghi pannelli esplicativi o schede cartacee, ma sono portati alla ribalta anche mezzi come le audioguide, le proiezioni di filmati o diapositive, i chioschi multimediali, i *touch-screen*, i dispositivi mobili.

L'innovazione tecnologica costituisce anche nel caso della promozione e comunicazione del patrimonio culturale un'opportunità eccezionale e irrinunciabile per la diffusione della cultura e della conoscenza; in particolare il web si afferma come strumento privilegiato di comunicazione in grado di mantenere l'identità dell'istituzione culturale e allo stesso tempo di rendere efficace e veloce la comunicazione, facilitare il recupero e il trasferimento delle informazioni, moltiplicare le possibilità di strutturazione della didattica museale anche a distanza, favorire l'aggregazione e la creazione di comunità virtuali. Nonostante la sempre più capillare diffusione di tecnologie e di sistemi informatici sofisticati, è necessario sottolineare l'importanza per i musei (e non solo) di evitare atteggiamenti che tendano a utilizzare le tecnologie in maniera superficiale: le opportunità che

queste offrono, infatti, non sono sempre adeguatamente sfruttate e talvolta si tramutano in una mera presentazione di *brochures* o nella traduzione in formato digitale di libri e cataloghi stampa, assolutamente inadeguati alla dimensione ipertestuale e multimediale del mezzo. Spesso, quando accade di incontrarne esempi, si tratta di pratiche che non dipendono dalle caratteristiche intrinseche dello strumento, bensì dalla mancanza di una volontà – e molto spesso anche dei mezzi economici – di riflettere su come impiegarle in modo più efficiente per le finalità culturali. La soluzione proponibile sarebbe quella di cercare di instaurare nuove collaborazioni con esperti dei nuovi linguaggi e della comunicazione multimediale e con chi sa come stimolare e orientare l'attenzione, realizzando così prodotti innovativi e di qualità che sappiano anche raggiungere un alto livello di coinvolgimento dell'utenza. Le sue potenzialità, infatti, rendono internet il mezzo privilegiato di diffusione del patrimonio culturale, in quanto pone al centro della comunicazione l'immagine e la sua struttura ipertestuale e permette diversi livelli di approfondimento. Esso, infatti, è in grado di moltiplicare e arricchire la fruizione del museo rendendo interattiva la consultazione dei contenuti, consentendo così all'utente di scegliere, rispondere, esprimere preferenze e creare il proprio personalissimo percorso di visita, facilitando in questo modo la comprensione.

I timori che il web provochi un possibile calo del numero di visitatori del museo reale si sono dimostrati del tutto ingiustificati, visto che al contrario ne è stato riscontrato un aumento. Si è verificato piuttosto un cambiamento del rapporto tra l'istituzione museale e il proprio pubblico: il web permette un rapporto molto più diretto con i visitatori, in quanto essi non solo possono accedere a un maggiore numero di informazioni, ma anche perché, grazie a strumenti come la posta elettronica, ogni utente può pensare di scrivere direttamente al museo e di conseguenza aspettarsi una risposta.

In questo senso, il museo potrà sfruttare le potenzialità dei sistemi informativi per svolgere un importante ruolo di supporto alla formazione delle nuove generazioni. Come afferma Galluzzi, si tratta quindi di una grande occasione per offrire al pubblico una nuova immagine di queste istituzioni, proponendole non più come luoghi solenni di deposito del sapere, ma come "officine", ovvero veri e propri centri di elaborazione di prodotti culturali e intellettuali, fruibili sia *in loco* sia da utenti remoti. In questa maniera, il museo si configura come entità viva e attivamente inserita nel quadro delle strutture che stimolano e diffondono la cultura.

La ri-mediazione digitale

La diffusione dei media digitali e del *World Wide Web* ha modificato sensibilmente le forme di rappresentazione, comunicazione e fruizione del patrimonio culturale. Per

capire gli effetti dei media digitali sulle forme di rappresentazione e di esperienza del patrimonio culturale, e quello museale in particolare, è necessario soffermarsi sul processo di traduzione e di ri-mediazione che coinvolge media vecchi (di massa) e nuovi (a base digitale, in rete). In particolare dobbiamo mettere in evidenza:

- un accesso più ampio e delocalizzato al patrimonio culturale *on-line* attraverso il web (*on-line* via pc, dispositivi *wireless*);
- un accesso rimediato agli oggetti del patrimonio attraverso le reti (musei virtuali, database *on-line*) e attraverso dispositivi *off-line* (*multimedia kiosks*, audioguide multimediali, sistemi immersivi in *Virtual Reality*).

In questo contesto è utile introdurre il concetto di *ri-mediazione*. Si tratta del “processo di integrazione e competizione fra i media tradizionali (testo, cinema, televisione, fotografia) e le forme di rappresentazione e di esperienza dei nuovi media digitali”.

Oggi assistiamo in molteplici campi di applicazione a processi di ri-mediazione e le realtà museali ne sono assolutamente coinvolte. Anzi, per numerose realtà museali quest'operazione è quanto mai difficile e allo stesso tempo interessante a causa della realizzazione avvenuta in un tempo ormai molto lontano. I casi dei musei del Settecento e Ottocento ne sono un esempio evidente. Queste erano strutture statiche, immobili, conservative, nate esclusivamente con lo scopo di creare e mantenere collezioni di opere importanti e uniche. Dai primi anni novanta si assiste a una vera e propria rivoluzione dei media. Da questa consegue direttamente la ri-mediazione anche delle strutture museali.

Esiste una doppia logica dietro il concetto di ri-mediazione in ambito museale: l'immersività e l'iper-mediazione.

L'immersività si traduce nell'esperienza realistica che i nuovi media tendono a realizzare. Si verifica una rimozione del carattere mediato dell'esperienza e un occultamento dell'interfaccia. Nella realtà virtuale immersiva, l'utente è completamente “calato” nell'interazione con l'ambiente elaborato al computer. La sua esperienza vuole essere il più possibile immediata. Tale immersività/realismo è il prodotto di un processo di ri-mediazione molto sofisticato dal punto di vista tecnologico: implica l'uso di caschi, guanti, adattamenti percettivo-cognitivi al nuovo ambiente.

L'iper-mediazione è la tendenza opposta all'immersività. Si manifesta nella moltiplicazione delle finestre tipica del web e nella combinazione di media e contenuti diversi: il dipinto accanto al film, il testo accanto alla musica ecc. Anche l'iper-mediazione tende verso un'esperienza realistica, ma se nel primo caso ciò avviene attraverso la rimozione dell'interfaccia, qui invece è il prodotto della moltiplicazione delle interfacce. L'iper-mediazione valorizza il carattere mediato dell'esperienza. La logica ipertestuale del web rappresenta l'espressione più compiuta dell'iper-mediazione, ovvero della tendenza dei nuovi media a esaltare il

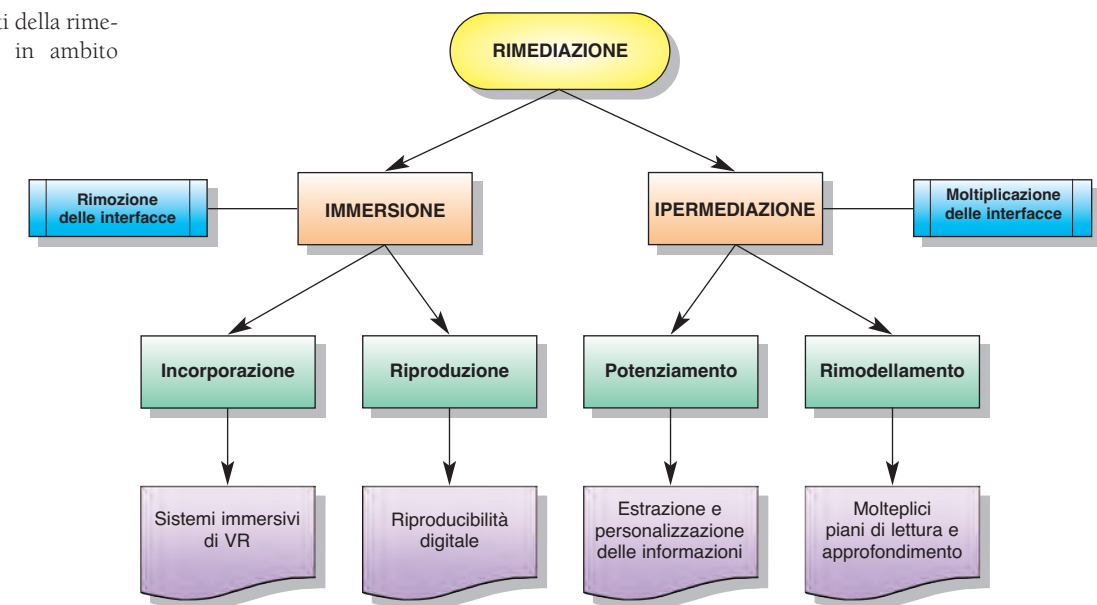
carattere connesso e moltiplicativo del patrimonio culturale *on-line*.

Si possono schematizzare alcune metodologie ricorrenti per la ri-mediazione in ambito museale e più in generale per il patrimonio culturale (fig. 1):

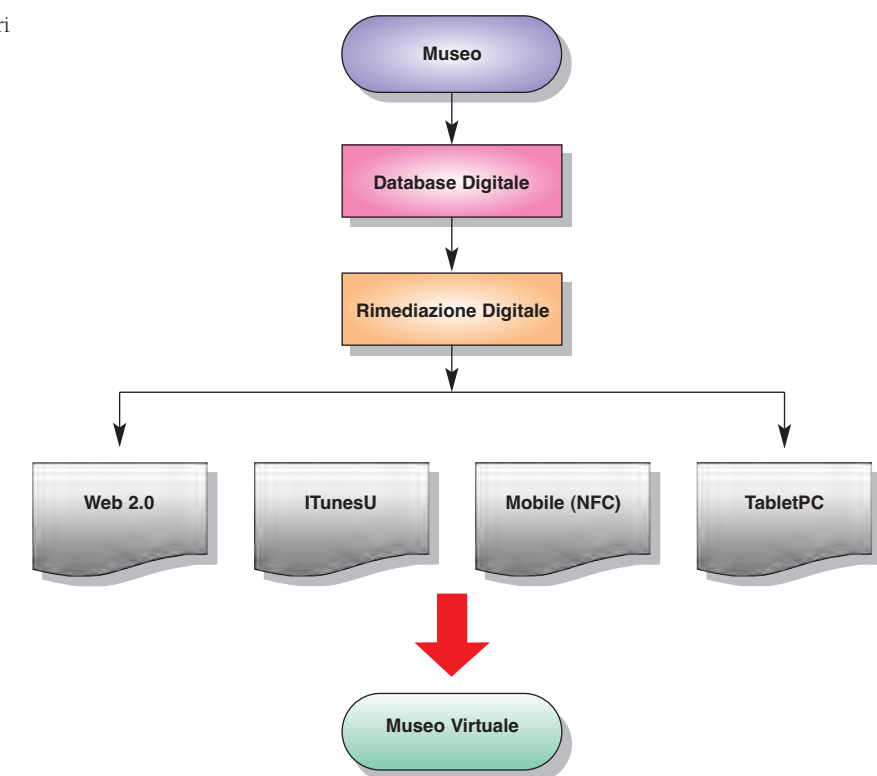
- *riproduzione*: il medium tende a essere un semplice supporto per la riproducibilità. Il suo ruolo non è però così neutro: la riproducibilità digitale può significare un accesso più ampio così come modificare sensibilmente le modalità di fruizione; la riproducibilità si rivela molto importante anche a livello didattico, poiché ne consente l'utilizzo in momenti diversi e su piattaforme diverse;
- *potenziamento*: la realtà, rappresentata da un libro piuttosto che da un reperto archeologico o da una collezione di fossili, viene potenziata soprattutto dal punto di vista della fruizione, sia quantitativa sia qualitativa. L'esempio del libro forse è il più immediato: il libro *on-line* mantiene la tradizionale struttura articolata in una copertina, un indice, alcuni capitoli, i riferimenti bibliografici, ecc., ma la sua versione elettronica ne consente una fruizione potenziata: lettura ipertestuale invece di sequenziale; estrazione e indicizzazione del testo; personalizzazione per nuovi display (PDA, lettori portatili video e mp3, e-book);
- *rimodellamento*: qui avviene un deciso processo di iper-mediazione in cui il medium richiama prepotentemente l'attenzione su se stesso e sul suo ruolo fondamentale di interfaccia del patrimonio culturale; tale processo interessa sia le forme di rappresentazione dei contenuti, sia le sue condizioni di leggibilità e l'interazione con il pubblico; l'opera perde la sua integrità e unitarietà, ma acquista una forma composita articolata su più piani: l'oggetto (il dipinto, l'installazione, il reperto), il suo contesto (le altre opere di riferimento), la lettura critica, gli approfondimenti; i diversi piani si integrano in un'esperienza frammentaria e molteplice;
- *incorporazione*: consiste nella ri-mediazione del patrimonio realizzata attraverso i sistemi immersivi di realtà virtuale (*Computer Automated Virtual Environment: CAVE*); tende all'immediatezza dell'esperienza: l'utente dovrebbe dimenticare la tecnologia per immergersi completamente nella visita.

La ri-mediazione, dunque, ha molte sfaccettature e si presenta a molteplici livelli di applicazione e fruizione. Per quanto riguarda i musei, le tecnologie dell'informazione (ICT) trasformano/rimediano gli ambienti sia da un punto di vista materiale che simbolico, sviluppando un processo che coinvolge tre dimensioni distinte. La prima dimensione riguarda l'automazione dei processi, come ad esempio la digitalizzazione di collezioni e fondi archivistici. La seconda dimensione riguarda la familiarizzazione con le nuove tecnologie. Gli utenti acquisiscono le competenze necessarie per utilizzare i nuovi media attraverso il *learning by using*. La diffusione del web (prima 1.0 poi 2.0) rende gli utenti protagonisti nel creare contenuti e viene oltrepassato il concetto di fruitore passivo

1. Aspetti della rimediazione in ambito museale



2. Origine e caratteri del museo virtuale



di un contenuto su internet come in un museo. Si sente la necessità di un elevato grado di interazione. È stata raggiunta la massa critica di utenti che utilizzano e conoscono le ICT tale da giustificare un mutamento qualitativo anche negli ambienti potenzialmente influenzati dalle ICT stesse. In ambito museale ciò si riflette con la nascita dei musei virtuali (fig. 2). La terza dimensione considera la fase di appropriazione delle tecnologie e la conseguente riconfigurazione delle reti di conoscenza, quindi si esplica completamente il *learning by doing*.

Adesso siamo nell'era del web 2.0 con tutti i servizi collegati. Il rapporto dei musei con il web 2.0 è in costante evoluzione e si assiste a una convergenza

importante fra alcune strutture museali di antica concezione e le nuove tecnologie. La comunicazione e la produzione di contenuti non sono più unidirezionali, ma occupano tutte le direzioni possibili. La comunicazione è più diretta, informale, quasi una conversazione paritaria tra gli attori. Riassumiamo brevemente i caratteri principali dei servizi 2.0 legati ai musei:

- *blog museali*: ne esistono varie tipologie, fra le quali si possono segnalare quelle che promuovono le attività del museo, quelle per la discussione di nuovi contenuti, quelle legate a progetti particolari o temporanei e infine quelle gestiti dai curatori museali con un approccio più tecnico-scientifico;

- **Wiki:** presenza su Wikipedia o MuseumsWiki Project, creare proprie *Wiki* pubbliche per progetti specifici, utilizzare *Wiki* internamente (reti intranet);
 - **Social Network:** portare l'esperienza *on-line* fuori dal sito web, raggiungere nuovo pubblico (ampliare la comunità), promuovere dell'attività museale, condividere contenuti con gli utenti, ricevere contenuti prodotti dagli utenti, l'utente può intervenire, giudicare e commentare;
 - **micro-contenuti (tag, RSS):** garantiscono una migliore organizzazione e fruizione dei contenuti;
 - **mobile:** grande diffusione dei dispositivi mobili, possibilità di scambio di contenuti, integrazione *on-line*, *artcasting* (i contenuti sono disponibili attraverso il sito web del museo, si effettua il download attraverso software dedicati, iTunes o RSS feed, sui lettori personali, si va al museo con la propria guida!).
- Riassumendo, si può quindi affermare che non c'è più solo il sito web istituzionale, ma esiste parallelamente una produzione e condivisione di contenuti (anche da parte degli utenti stessi), nasce un nuovo tipo di ascolto e dibattito con gli utenti (comunicazione tra pari), si riesce a promuovere e animare il dibattito tra utenti formando dei gruppi di interesse.

Le collezioni museali ri-mediate

Le collezioni rappresentano l'anima di un museo, rappresentano anche la sua storia e quindi la sua evoluzione nel tempo. Pensare di ristrutturarle attraverso l'utilizzo di nuovi media e di nuove tecnologie non si presenta come un'impresa di poco conto, ma sempre più indispensabile per rendere un museo un luogo più familiare per il pubblico e per tutti coloro che vi lavorano. Non esiste solamente una motivazione legata ai fruitori del museo, ma se ne possono identificare anche altre legate alla missione del museo in senso stretto. Una rimediazione delle collezioni museali può consentire, oltre a una migliore fruizione delle opere, anche una loro miglior conservazione e integrazione con nuove collezioni e nuovi reperti acquisiti in un secondo momento. Le nuove tecnologie producono nuovi manufatti digitali legati in modo indissolubile all'oggetto originale integrandone le conoscenze e facendo sì che esse stesse debbano essere protette e conservate al pari degli originali. Si tratta di una 'realtà aumentata' delle collezioni, quindi una 'collezione aumentata'. Dobbiamo stilare una serie di criteri che ci possano guidare sia nella fase progettuale che in quella realizzativa ai fini della conservazione e della musealizzazione. Vengono elencati qui di seguito una serie di principi guida per la progettazione e la realizzazione di collezioni museali ri-mediate, ovvero viste alla luce dei nuovi media e in qualche modo ristrutturate al fine di poter offrire servizi qualitativamente più elevati al pubblico.

La progettazione

La pianificazione di un progetto di collezione digitale presenta le seguenti motivazioni e risorse:

- formazione del gruppo di lavoro e distribuzione delle competenze;
- cooperazione fra gruppi di ricerca ed esternalizzazione (*outsourcing*) tecnologica;
- selezione del materiale originale;
- soluzione degli eventuali problemi legati alla proprietà intellettuale;
- allestimento dell'infrastruttura hardware/software: *hosting* e *standards*;
- preparazione, trattamento e acquisizione degli originali;
- processo di digitalizzazione (tecniche e modalità di acquisizione) e lavorazione digitale (nomenclatura, correzione, OCR ecc.);
- conservazione del master digitale (formato dei file, scelta dei supporti, strategie di migrazione);
- allestimento del sistema di recupero dell'informazione: descrizione, metadata;
- preparativi per la pubblicazione (trattamento e ottimizzazione delle immagini, scalatura, marcatura ecc.);
- allestimento dell'ambiente di fruizione: sito web, interfacce, navigazione, profili d'utilizzo e limiti di fruizione;
- promozione della collezione digitale (mostre temporanee o permanenti, aree museali);
- integrazione, interazione, collaborazione, con i servizi e con le altre collezioni interne, con enti e collezioni remote (servizi del web 2.0);
- gestione nel tempo: aggiornamento tecnologico e dei contenuti, sviluppo del servizio, incremento delle collezioni e dei loro contenuti.

Le motivazioni

L'allestimento di una collezione digitale potrebbe e dovrebbe essere visto come uno strumento per:

- consentire, agevolare, incrementare l'accesso (presenza fisica dell'utente non richiesta, nessun limite di esemplari, nessun limite di accesso per il cattivo stato degli esemplari o per collocazione remota ecc.);
- attirare una nuova utenza, remota, sfuggente, tecnologizzata (in gran parte giovane);
- migliorare le modalità e possibilità di fruizione (per esempio mediante restauro digitale, ottimizzazione grafica ecc.);
- preservare e conservare i materiali più utilizzati, più fragili, di maggior valore;
- valorizzare le collezioni (per esempio materiale di interesse locale, costruzione di identità documentale);
- riorganizzare virtualmente collezioni fisicamente frammentate, costruire percorsi, allestire mostre (i cosiddetti musei multipolari);

- integrare documenti di varia natura (per esempio testo scritto e registrazione audio/video);
- completare virtualmente le collezioni attraverso l'interazione con collezioni digitali remote;
- supportare attività istituzionali o esterne (didattica, ricerca, convegni, mostre).

I livelli comunicativi

La scelta dei formati comunicativi, delle modalità dell'interazione, dei media da privilegiare e quindi delle soluzioni tecnologiche da adottare si diversifica a seconda della collocazione delle postazioni multimediali rispetto ai percorsi di visita, all'interno degli spazi del museo. La collezione risulta fruibile in modi diversi e con scopi differenti. Idealmente un sistema comunicativo si articola in due livelli principali.

Il livello: comunicazione breve in presenza delle opere (il digitale integra l'opera esposta). Postazioni multimediali contenenti frammenti di comunicazione breve a bassa interattività, incentrati su informazioni che sono strettamente e inscindibilmente relazionate con gli oggetti esposti (anche in forma digitale). Tali postazioni vengono collocate lungo il percorso di visita, una o più per sala, (secondo la necessità e la varietà di oggetti esposti in ciascun ambiente), nelle immediate vicinanze delle opere. Il basso livello di interattività e la brevità dei singoli oggetti multimediali sono prerogative essenziali allo scorrimento del flusso dei visitatori; per ovviare a questo limite, la strategia è quella di moltiplicare le postazioni suddividendo il contenuto e organizzandolo in più unità autonome, in modo da favorire la dispersione dei visitatori in diversi luoghi simultaneamente.

Il livello: approfondimenti dei contenuti discosti dai percorsi di visita. Postazioni a elevata interattività e ad alta concentrazione di contenuti, destinate a una sala didattica o centro di documentazione (discoste dai flussi principali di percorrenza o comunque a essi parallele) con approfondimenti tematici e opzioni di ricerca. È funzionale a un ulteriore approfondimento delle tematiche affrontate nel corso della visita delle sale museali, per un pubblico più curioso o più esperto. Tipicamente si possono prevedere (es. museo di storia naturale):

- una postazione di osservazione della realtà 'micro'. Come le nuove tecnologie possono implementare e ottimizzare la realtà invisibile a occhio nudo (immagini acquisite con microscopi ottici e elettronici);
- un'applicazione di realtà virtuale (contesto tridimensionale esplorabile in tempo reale dall'utente) come la ricostruzione di una forma fossile o di un paleoambiente;
- una postazione multimediale basata su tecnologia filmica (per esempio la tecnologia del DVD Video), caratterizzata da un'interattività medio-alta;

- una postazione multimediale di approfondimento dei contenuti, caratterizzata da media di varia natura e da una complessa interattività (con database, opzioni di ricerca);
- postazioni connesse a internet per la consultazione di contenuti nel web che abbiano una rilevanza rispetto ai contenuti del museo (con un metamotore di ricerca per consultazioni esclusive dell'ambito di interesse).

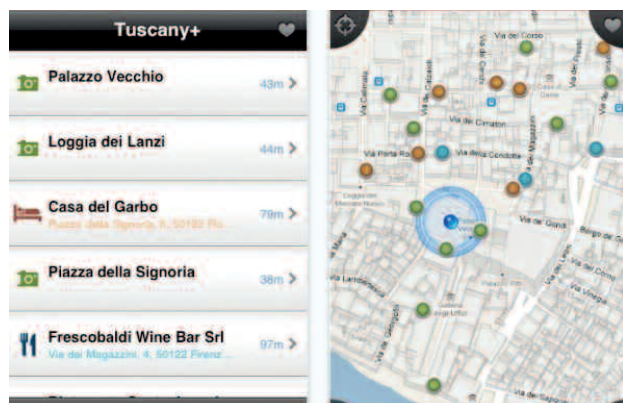
I vantaggi sono molteplici: la comunicazione e la comprensione avvengono in modo percettivo ed esperienziale, attraverso un linguaggio fatto di immagini, suoni, animazioni, ricostruzioni grafiche, filmati, risultando incomparabilmente più immediato rispetto ai tradizionali supporti testuali. Inoltre, potendo operare in modo virtuale sugli oggetti, è possibile trattarli in modo del tutto flessibile, reintegrando e ricontestualizzandoli a piacimento, abbattendo i vincoli che sia le necessità di preservazione e conservazione dell'oggetto reale, sia le strutture espositive, inevitabilmente pongono.

Il museo "aumentato"

In generale, la realtà aumentata (*Augmented Reality* o *AR*) è la rappresentazione di una realtà alterata in cui alla normale realtà percepita attraverso i nostri sensi vengono sovrapposte informazioni sensoriali artificiali e/o virtuali. Si tratta di fatto di un aumento di livelli informativi di varia natura a ciò che i nostri sensi percepiscono. In poche parole si tratta di un potenziamento percettivo. È importante puntualizzare che queste integrazioni non sono affatto circoscritte ai dati visivi, ma possono comprendere – se la tecnologia lo consente – dati olfattivi, uditivi e perfino tattili.

La costruzione di un ambiente di realtà aumentata si basa su tre fasi principali: analisi della realtà, creazione delle nuove informazioni sulla base della realtà, rappresentazione di realtà più le informazioni. Nella maggior parte dei casi però l'analisi della realtà è attuata attraverso il semplice riconoscimento di un simbolo in bianco e nero (*marker*), spesso stampato su un foglio dall'utente, sulla cui base viene visualizzato sullo schermo un oggetto 3D o un'animazione. Benché questa tecnologia abbia mosso i primi passi in ambiente militare, come quasi tutte le tecnologie che poi vengono a far parte della nostra quotidianità, i campi di applicazione in cui è attualmente impiegata sono diversi. Molti musei stanno sperimentando delle soluzioni per integrare le opere artistiche o storiche con video e ricostruzioni 3D. Sugli *smartphone* più diffusi ci sono applicazioni (Layar, Wikitude) che utilizzano la nostra posizione attuale (tracciata con GPS) per indicarci punti di interesse (*Points of Interest, POI*) vicini a noi, come raggiungerli e in quanto tempo.

Il fenomeno della realtà aumentata si identifica



3. Programma di realtà aumentata *Tuscany*



4. Realtà aumentata su *smartphone* per le visite museali

quasi sempre con la tecnologia che sta dietro la realizzazione dei vari progetti. Ma di cosa parliamo esattamente? Di una realtà aumentata, ovvero arricchita di particolari, dettagli, nozioni che la descrivono in modo più esauriente. Il concetto base sembra quindi possa essere indipendente anche dalle nuove tecnologie che appaiono come un aspetto imprescindibile della definizione. Se accanto a un elemento di una collezione pongo una didascalia descrittiva con una foto di un dettaglio morfologico creo una realtà aumentata. Se costruisco una base di dati collegata a una collezione e la rendo pubblica per la consultazione creo una realtà aumentata. Questa base di dati potrà poi in un secondo momento collegarla a un dispositivo mobile che mi permetterà, attraverso anche un tracciamento GPS, di ricreare una visita virtuale del museo senza essere fisicamente presente con i medesimi contributi informativi (figg. 3-4). Si può affermare che vi sono diversi livelli di realtà aumentata a complessità crescente che si possono realizzare nel tempo, partendo da un ben preciso progetto iniziale. Un progetto di rimediazione digitale, come potrebbe essere quello approntato per un museo, realizza di fatto anche un obiettivo di realtà aumentata seppur con tecnologie limitate. Possiamo parlare quindi di museo 'aumentato' in virtù del fatto che sono e saranno aggiunte informazioni alle collezioni esistenti (fig. 5). Tali informazioni saranno qualitativamente importanti e originali rispetto alle attuali. Molte riproposizioni del materiale presente e degli allestimenti in forma multimediale o anche attraverso ricostruzioni tridimensionali non hanno una grande valenza scientifica se solo ed esclusivamente tradotti per le nuove tecnologie. La realtà aumentata nasce da una ri-mediazione profonda, concettuale, dove vengono aggiunte nuove informazioni originali, facenti parte del nuovo sistema informativo, che vanno ad aumentare la realtà museale. La vera ri-mediazione digitale e la realtà aumentata si possono definire tali solo se descrittive di un sistema informativo originale che viene costruito intorno alle collezioni preesistenti integrandone i significati e realizzando quel

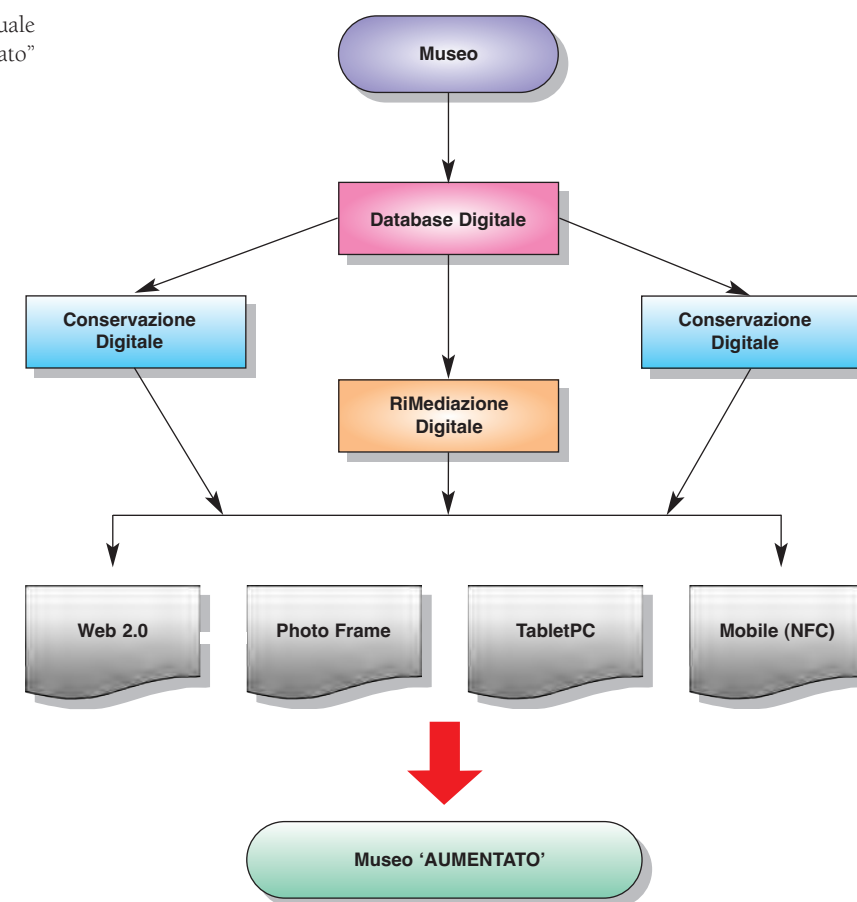
progetto di maggiore fruibilità qualitativa, obiettivo principale di qualsiasi realtà museale.

Il concetto di 'museo aumentato' vuole rendere giustizia anche a una serie di sforzi sostenuti dalle realtà museali, spesso di piccole dimensioni, per andare incontro alle esigenze del pubblico coniugando questo obiettivo primario con una fase di ricerca scientifica dinamica, che si evolve nel tempo sia nei mezzi che nei modi, e non immobile come avveniva spesso in passato. È proprio in questi luoghi di antica concezione e dagli spazi limitati che si intravedono le potenzialità per realizzare progetti di ri-mediazione profonda, rimodellamento della comunicazione, ristrutturazione della ricerca, elaborazione di nuove forme di conservazione.

Conclusioni

Prima di concludere, un'osservazione sul grado di fattibilità. Implementare le nuove tecnologie all'interno di una struttura museale, anche e soprattutto di origini antiche, non è quanto di più drammatico si possa pensare, ma lo diventa nel momento in cui si vuol mantenere quello spirito di rigore scientifico che permeava gli uomini di cultura dell'epoca. Probabilmente a livello comunicativo i lavori dell'epoca non erano di una qualità eccezionale, ma lo spirito della conservazione e della collezione era a livelli molto alti. Cosa riusciamo noi oggi a migliorare e integrare grazie alle nuove tecnologie? Riusciamo senza dubbio a migliorare l'aspetto comunicativo rendendolo polimodale e quindi più accessibile. Questo è un aspetto importante, ma forse un po' vincolato temporalmente. Le realizzazioni fatte oggi per i media saranno riutilizzabili e accessibili per quanto tempo? Saremo in grado fra qualche anno di fruire del materiale preparato oggi? Molto probabilmente dovremo essere pronti a una nuova fase di ri-mediazione a breve termine vista la velocità evolutiva delle nuove tecnologie. Diventa fondamentale, nell'epoca della comunicazione a tutti i costi, soprattutto per un'istituzione museale scientifica, rimettere al centro l'og-

5. Modello concettuale del "Museo Aumentato"



getto della collezione con le sue caratteristiche peculiari e la sua valenza scientifica. Credo si possa introdurre a proposito delle realtà museali un parametro mutuato dal linguaggio del web e delle nuove tecnologie in generale ovvero l'accessibilità.

Più esattamente si dovrebbe parlare di accessibilità reale. Che cosa si intende? Pensiamo a una realtà ottocentesca dove erano mancanti sia gli accessi fisici all'oggetto della collezione sia a tutti i significati che erano racchiusi dentro quell'oggetto. Oggi possiamo regolare l'accesso a entrambi questi mondi con un vantaggio importante: possiamo portare alla luce aspetti esclusivi delle nuove tecnologie che diventano parte integrante del bene culturale. Un esempio può chiarire meglio. Un fossile appartenente a una collezione può essere investigato mediante tecnologie come il microscopio elettronico a scansione ottenendo immagini ad altissima risoluzione e ingrandimento di tutto o di una parte del reperto. Da questo tipo di analisi otteniamo delle immagini digitali native che permettono di ricostruire la morfologia esatta tridimensionale della forma analizzata nonché

fornire un contributo scientifico di grande spessore visto l'elevato grado di dettaglio raggiunto nell'analisi. Questo tipo di risultato non è altro che nuovo materiale da affiancare al preesistente per integrare una collezione che in questo modo evolve nel tempo sia a livello conoscitivo che scientifico. Grazie alle nuove tecnologie, questi risultati sono immediatamente fruibili anche dal pubblico che può apprezzare sia i progressi scientifici in atto sia le connessioni che i nuovi contributi scientifici tendono a instaurare.

Concludendo, risulta abbastanza evidente come possa essere opportuno un approccio pragmatico alle nuove tecnologie che devono essere considerate come uno strumento assai potente, ma non miracoloso, per una ristrutturazione dell'esperienza museale. I contenuti devono rimanere al loro posto, anzi devono essere posti in risalto proprio grazie alle nuove tecnologie che non devono essere accentrati dell'interesse del visitatore, ma devono viceversa rappresentare un mezzo per ottimizzare i contenuti stessi, renderli più fruibili e più accessibili.

Testi consultati

- Acidini C. & Cappellini V. (2008) - *Reale e virtuale nei musei*. Pitagora Editrice, Bologna.
Ago F. (2008) - *Il mondo del museo oggi*. Felici Editore, Pisa.
Amodio L., Buffardi A. & Savoiano L. (2005) - *La cultura*

interattiva. Comunicazione scientifica, musei, science centre. Oxidiana, Pomigliano d'Arco.

Anderson P. (2007) - *What is Web 2.0? Ideas, technologies and implications for education*. Url: <http://www.jisc.ac.uk/media/documents/techwatch/tsw0701b.pdf> (verificato il 26/12/2010).

Antinucci F. (2004) - *Comunicare nel museo*. Laterza, Roma-Bari.

Antinucci F. (2007) - *Musei virtuali*. Laterza, Roma-Bari.

Atzeni P., Merialdo P. & Sindoni G. (2002) - *Web site evaluation: methodology and case study*. Lecture Notes in Computer Science, 2465: 253-263, Springer, Dordrecht.

Balboni Brizza M.T. (2003) - *Il museo come forma complessa*. Nuova museologia, 3. Url: <http://www.nuovamuseologia.org> (verificato il 26/12/2010).

Barr J. (2005) - *Dumbing down intellectual culture: Frank Furedi, life-long learning and museums*. *Museum and society*, 3(2). Url: http://www.le.ac.uk/ms/m&s/vol_3,2.html (verificato il 26/12/2010).

Bell F. (2009) - *Connectivism: a network theory for teaching and learning in a connected world*. Educational Developments, The Magazine of the Staff and Educational Development Association, 10 (3).

Bell B., Feiner S. & Hollerer T. (2001) - *View management for virtual and augmented reality*. Proc. UIST'01, pages 101-110, Orlando, Florida, USA, 11-14 novembre 2001. ACM.

Bethke L.A. (2007) - *Constructing Connections: A Museological Approach to Blogging*. University of Washington. Url: <http://lynnbethke.googlepages.com/Thesis-ConstructingConnections-absol.pdf> (verificato il 10/01/2011)

Bernstein S. (2008) - *Where Do We Go From Here? Continuing with Web 2.0 at the Brooklyn Museum*. Trant J. & D. Bearman (eds.), *Museums and the Web 2008: Proceedings* (CD-ROM), Toronto: Archives & Museum Informatics. Pubblicato il 31 marzo 2008. <http://www.archimuse.com/mw2008/papers/bernstein/bernstein.html> (verificato il 10/01/2011)

Bolter J.D. & Grusin R. (2002) - *Remediation*. Guerini e Associati, Milano.

Bonaiuti G. (2006) - *Elearning 2.0, Il futuro dell'apprendimento in rete tra formale e informale*. Erickson, Trento.

Bondesan F. (2007) - *Sviluppo di un'applicazione web per la realizzazione di portali museali*. Tesi di Laurea non pubblicata, Università degli Studi di Ferrara.

Bowen J. (2008) - *Wiki Software and Facilities for Museums*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2008: Proceedings* (CD-ROM), Toronto: Archives & Museum Informatics. Pubblicato il 31 marzo 2008. Url: <http://www.archimuse.com/mw2008/papers/bowen/bowen.html> (verificato il 10/01/2011).

Calvani A. (2001) - *Educazione, comunicazione e nuovi media. Sfide pedagogiche e cyberspazio*. Utet libreria, Torino.

Calvani A. (a cura di) (2007) - *Fondamenti di didattica*. Carocci, Roma.

Calvani A. (2009) - *Dall'educazione a distanza all'e-learning*. Vol. collettaneo, XXI sec. *Norme e idee*, 611-619, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, Roma.

Cameron D.F. (1971) - *Il museo: tempio o forum*. Ribaldi C. (ed.), *Il nuovo museo. Origini e percorsi*, 45-64, Il Saggiatore, Milano.

Campanella L. (2009) - *Musei e cultura scientifica*. Aracne.

Capaldi D., Ilardi E. & Ragone G. (2008) - *Comunicare la memoria. Le istituzioni culturali europee e la rete*. Liguori Editore, Napoli.

Cataldo L. & Paraventi M. (2007) - *Il museo oggi. Linee guida per una museologia contemporanea*. Hoepli, Milano.

Chan S. (2007) - *Tagging and Searching. Serendipity and museum collection databases*. *Museums and the Web 2007*, San Francisco. Url: <http://www.archimuse.com/mw2007/papers/chan/chan.html> (verificato il 10/01/2011).

Chan S. (2008) - *Towards New Metrics Of Success For On-line Museum Projects*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2008: Proceedings* (CD-ROM), Toronto: Archives & Museum Informatics. Pubblicato il 31 marzo, 2008. Url: [http://www.archimuse.com/mw2008/papers/chan-metrics/chan-](http://www.archimuse.com/mw2008/papers/chan-metrics/chan-metrics.html)

[metrics.html](http://www.archimuse.com/mw2008/papers/chan-metrics/chan-metrics.html) (verificato il 10/01/2011).

Cigliano E. (2003) - *Valorizzazione del patrimonio artistico e culturale attraverso la comunicazione integrata e multicanale: il caso multimuseo*. Disponibile su <http://www.fizz.it/home/articoli/2003/146-valorizzazione-del-patrimonio-artistico-e-culturale-attraverso-la-comunicazione-in> (verificato il 10/01/2011).

Cipriani C. (2006) - *Appunti di Museologia Naturalistica*. Firenze University Press, Firenze.

Clemente P. (2004) - *Museografia e comunicazione di massa*. Aracne, Roma.

Cosenza, G. (2004) - *Semiotica dei nuovi media*. Laterza, Bari.

Davoli P., Corradini E., Garzillo E., Nuccio M. & Russo A. (2004) - *Inspection of museum web application quality – analysis of selected European sites*. *Proceedings CD-ROM Museum & Web*.

Davoli P., Mazzoni F. & Corradini E. (2005) - *Quality assessment of cultural web sites with fuzzy operators*. *Journal of Computer Information Systems*, 46 (1): 44-57.

Davoli P. (2006) - *Trustworthiness evaluation of Web quality inspection tools*. *International Journal of Electronic Business Management*, Spec. Issue on Web-based Information Quality, 4 (1): 64-76.

Dawson B. et al. (2008) - *Social Presence: New Value For Museums And Networked Audiences*. In: Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2008: Proceedings* (CD-ROM), Toronto: Archives & Museum Informatics. Pubblicato del 31 marzo, 2008. Url: <http://www.archimuse.com/mw2008/papers/dawson/dawson.html> (verificato il 10/01/2011).

De Robbio A. (2007) - *Archivi aperti e comunicazione scientifica*. Clio Press, Napoli

Downes S. (2008) - *Connectivism & Connective Knowledge*. *Journal of Online Education*, 5 (1).

Ferrara, C. (2007) - *La comunicazione dei beni culturali. Il progetto dell'identità visiva di musei, siti archeologici, luoghi della cultura*. Lupetti, Milano.

Fini A. e Cigognini E. (2009) - *Web 2.0 e social Networking. Nuovi paradigmi per la formazione*. Erickson, Trento.

Freedman M. (2003) - *Think different: combining online exhibitions and offline components to gain new understandings of museum permanent collections*. *Museums and the Web*, Toronto. Url: <http://www.archimuse.com/mw2003/papers/freedman/freedman.html> (verificato il 10/01/2011).

Frezza G. (2005) - *Archivi mediali, digitali, audiovisivi, web*. Meltemi, Roma.

Fronza V. (2003) - *Principi di database management in archeologia: l'esperienza senese*. III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale. Firenze, 629-632.

Fronza V., Nardini A. & Valenti M. (2002) - *An integrated information system for archaeological data management: latest developments. The digital heritage of archaeology. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. *Proceedings of the 29th Conference*. Heraklion (Crete, Greece, 2-6 aprile 2002), Oxford.

Gabucci A. (2005) - *Informatica applicata all'archeologia*. Carocci, Roma.

Gaia G. (2003) - *Musei e Web: la sfida della qualità*. Url: <http://www.apogeeonline.com/webzine/2003/12/04/10/200312041002> (verificato il 10/01/2011).

Gaia G. et al. (2005) - *Crossmedia: When the web doesn't go alone*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museum and the Web 2005: Proceedings*, Toronto: Archives & Museum Informatics, Url: <http://www.archimuse.com/mw2005/papers/gaia/gaia.html> (verificato il 10/01/2011).

Galassi C. (2006) - *Musei a portata di mouse. Il caso del Louvre di Parigi*. Tesi, Roma.

Galluzzi P., Galluzzi V. & Pietro A. (a cura di) (1997) - *I formati della memoria. Beni culturali e nuove tecnologie alle soglie del*

terzo millennio. Giunti, Firenze.

Gavrili D., Tsakonas G. & Papatheodorou C. (2008) - *Designing interoperable museum information systems*. 14th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia, Limassol (CY), 20-26 ottobre [Conference Paper].

Getchell P. (2006) - *Beyond the on-line catalogue: using the web to leverage your collection more effectively*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museum and the Web 2005: Proceedings*, Toronto: Archives & Museum Informatics, Url: <http://www.archimuse.com/mw2006/papers/getchell/getchell.html> (verificato il 10/01/2011).

Granata L. (2000) - *Dopo i Beni Culturali. Biblioteche e musei nell'era di internet*. Simone, Napoli.

Granelli A. & Tracò F. (a cura di) (2006) - *Innovazione e cultura. Come le tecnologie digitali potenzieranno la rendita del nostro patrimonio culturale*. Il Sole 24Ore, Milano.

Hein G.E. (1995) - *The Constructivist Museum*. *Journal of Education in Museums*, 16.

Hein G.E., Alexander M. & Adams R. (1998) - *Educational Theory. Museums: Places of Learning*. American Association of Museums, Washington, DC.

Illeris H. (2006) - *Museums and galleries as performative sites for lifelong learning: Constructions, deconstructions and reconstructions of audience positions in museum and gallery education*. *Museum and Society*, 4 (1). Url: <http://www.le.ac.uk/ms/m&s/Issue%2010/2%20Illeris.pdf> (verificato il 15/01/2011).

Kavakli E. & Bakogianni S. (2004) - *Managing museum information*. 2nd International Conference of Museology, Mytilene, Greece, 28 giugno - 2 luglio 2004.

Kavakli E. & Bakogianni S. (2003) - *Building Museum Information Systems. A Knowledge Management Approach*. Lipitakis E.A. (ed.), *The 6th Hellenic European Research on Computer Mathematics & its Applications Conference (HERCMA 2003)*, LEA Publishers, Athens, Greece, 2003, vol. 2: 850-857.

Kinard J. (1972) - *Intermediari tra il museo e la comunità*. Ribaldi C. (ed.), *Il nuovo museo. Origini e percorsi*, 64-73, Il Saggiatore, Milano.

Lévy P. (1999) - *Cybercultura. Gli usi sociali delle nuove tecnologie*. Milano

Lollobrigida C. (2010) - *Introduzione alla museologia*. Le Lettere Editore, Firenze.

Lugli A., Pinna G. & Vercelloni V. (2005) - *Tre idee di museo*. Jaca Book, Milano.

Mason I. (2002) - *The Social Webs that must be woven: Information Management, Museums, and the Knowledge Industry*. *Mda Information*, 5 (5): 15-24.

Massarente A. & Ronchetta C. (2004) - *Ecomusei e paesaggi. Esperienze, progetti e ricerche per la cultura materiale*. Lybra Immagine, Milano.

Merzagora M. & Rodari P. (2007) - *La scienza in mostra*. Paravia Mondadori, Milano.

Milone V. (2004) - *Il museo. Da entità statica a istituzione dinamica*. Cacucci, Bari.

Monaci S. (2005) - *Il futuro nel museo. Come i nuovi media cambiano l'esperienza del pubblico*. Guerini Studio, Milano.

Monaci S. (2007) - *La rimediazione del patrimonio culturale*. Eweek 2007, Università di Vic (Spagna).

Negri M. & Sani M. (a cura di) (2001) - *Museo e cultura della qualità*. Clueb, Bologna.

Oates G. (2008) - *The Commons on Flickr: A Primer*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2008: Proceedings* (CD-ROM), Toronto: Archives & Museum Informatics. Url: <http://www.archimuse.com/mw2008/papers/oates/oates.html> (verificato il 10/01/2011).

Ockuly J. (2006) - *Museum expansions and the 'utility' of Web-based public information*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2006: Proceedings* (CD-ROM), Toronto: Archives &

Museum Informatics. Pubblicato il 1° marzo 2006. Url: <http://www.archimuse.com/mw2006/papers/ockuly/ockuly.html> (verificato il 10/01/2011).

Paolini P., Di Bias N. & Alonzo F. (2005) - *ICT per i beni culturali. Esempi di applicazioni*. Mondo Digitale, 3: 44-61. Url: http://www.mondodigitale.net/Rivista/05_numero_quattro/Paolini_p_44-61.pdf (verificato il 10/01/2011).

Pascucci G. (2007) - *Comunicazione museale fra eLearning ed edutainment*. Rossi P.G. (ed.), *Progettare eLearning*, Atti del Convegno internazionale di Studi (Macerata, 7-9giugno 2006), I, 232-244, Eum, Macerata.

Pascucci G. (2007) - *Museo 2.0: nuove prospettive per la comunicazione museale*. Colorni A., Pegoraro M. & Rossi P.G. (eds.), *eLearning tra formale ed informale*. Atti del IV congresso della Società Italiana di eLearning (Macerata 3-6 luglio 2007), 246-248, Eum, Macerata.

Patel M., White M., Mourkoussis N., Walczak K., Wojciechowski R. & Chmielewski, J. (2005) - *Metadata requirements for digital museum environments*. *International Journal on Digital Libraries*, 5 (3): 179-192.

Piacente M. (1999) - *Surf's up: museums and world wide web*. University of Toronto Research Papers, Master of Museum Studies Program, 1996. Teather L. e Wilhelm K., *Web musing: evaluating museums on the web from learning theory to methodology*, 1999, in www.archimuse.com.

Pinna G. (1997) - *Fondamenti teorici per un museo di storia naturale*. Lugli A., Pinna G. & Vercelloni V. (2005), *Tre idee di museo*, 87-161, Jaca Book, Milano.

Ridi R. (2010) - *Il mondo dei documenti*. Laterza, Bari.

Ross M. (2004) - *Interpreting the new museology*. *Museum and Society*, 2 (2), Url: <http://www.le.ac.uk/ms/m&s/Issue%205/ross.pdf> (verificato il 26/12/2010).

Rossi S. (2006) - *I musei scientifici: analisi della comunicazione web*. Tesi di Laurea specialistica non pubblicata, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia.

Rowland N. & Rojas F. (2006) - *Bringing technology back in: a critique of the institutional perspective on museums*. *Museum and Society* 4 (2): 84-95.

Siemens G. (2008) - *Learning and Knowing in Networks: Changing roles for educators and designers*. University of Georgia IT Forum.

Spadaccini J. (2006) - *A Survey of Museum Blogs and Community-Based Sites*. Ideum. Url: <http://www.ideum.com/blog/2006/03/a-survey-of-museum-blogs-community-sites-2> (verificato il 10/01/2011).

Tallon L. & Walker K. (2008) - *Digital technologies and the museum experience*. AltaMira Press, Lanham.

Tang M.C. (2005) - *Representational practices in digital museums: a case study of the National Digital Museum Project of Taiwan*. *The International Information and Library Review*, 37 (1): 51-60.

Taxén G. & Frécon E. (2005) - *The Extended Museum Visit: Documenting and Exhibiting Post-Visit Experiences*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2005 Proceedings Toronto: Archives & Museum Informatics*. Url: <http://www.archimuse.com/mw2005/papers/taxen/taxen.html> (verificato il 10/01/2011).

Thomas W. & Carey S. (2005) - *Actual/Virtual visits: what are the links?*. Trant J. & Bearman D. (eds.), *Museums and the Web 2005 Proceedings Toronto: Archives & Museum Informatics*. Url: <http://www.archimuse.com/mw2005/papers/thomas/thomas.html> (verificato il 10/01/2011).

Tonini J. (2003) - *Didattica museale e nuove tecnologie. L'esperienza dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze*. Tesi di Laurea non pubblicata, Università degli Studi di Firenze. URL: http://www.musei-it.net/tesi/tonini/tesi_imss_tonini.pdf (verificato il 10/01/2011).

Etrurianatura

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 maiuscoletto 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 e delle loro didascalie.

Gli articoli, trasferiti su CD e accompagnati a una loro copia

cartacea, dovranno essere inviati a: **Etrurianatura** Accademia dei Fisiocritici, piazzetta Silvio Gigli, 2 - 53100 Siena (tel./fax 0577.47002; e-mail: 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

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

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 novembre 2011