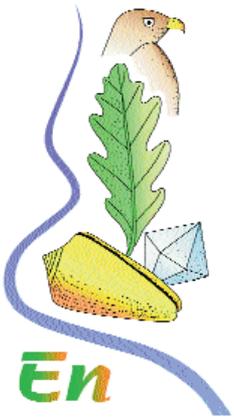


Anno II - 2005



Etruria*natura*

una finestra sul territorio

Periodico scientifico-divulgativo della Accademia dei Fisiocritici





Anno II - 2005

Etruria *natura*

Periodico scientifico-divulgativo
della Accademia dei Fisiocritici

*Coltivare Conoscenza
Per Creare Coscienza*

Etruria*natura*

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

Direttore responsabile

BACCIO BACCETTI NICCOLINI

Comitato editoriale

ROBERTO FONDI

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena, Via Laterina, 8 - Siena; tel.: 0577 233824

GIOVANNI GUASPARRI

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Siena, Via Laterina, 8 – Siena; tel.: 0577 233956

ROBERTO MAZZEI

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena, Via Laterina, 8 - Siena; tel.: 0577 233801

VINCENZO MILLUCCI

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Siena, Via Roma, 56 - Siena; tel.: 0577 234688

LUANA PAULESU

Dipartimento di Fisiologia Università degli Studi di Siena, Via A. Moro - Siena; tel.: 0577 234224

In copertina

La spiaggia di Le Ghiaie a Portoferraio nell'Isola d'Elba

IV di copertina

Uno sciarrano (*Serranellus scriba*) del mare elbano
fa capolino tra le rocce del fondo.

Foto del gruppo "Il graffio" di Follonica

Impaginazione e stampa

Edizioni Cantagalli

Via Massetana Romana, 12 - 53100 Siena

tel. 0577 42102 - fax 0577 45363



Sommario

Sommario

Presentazione

La pagina dell'Accademia

Contributi

- 12 Il progetto SPIn-Eco: una prospettiva di sostenibilità per la Provincia di Siena
Enzo Tiezzi
- 22 I Parmacellidi fossili dei Calcari di Pian del Casone (Alta Val d'Elsa)
Andrea Benocci, Giuseppe Manganeli
- 28 Il campo geotermico di Larderello: a volte, la luce arriva dalla Terra...
Enrico Pandeli
- 37 Introduzione alla conoscenza dei mammiferi del Plio-Pleistocene italiano.
I: Problematiche tassonomiche e inquadramento biostratigrafico
Roberto Fondi
- 50 La geochimica del particolato atmosferico e della polvere stradale nell'area di Siena
Mirko Crezzini, Luigi A. Di Lella, Emanuele Pizzetti, Giuseppe Protano, Francesco Riccobono
- 61 Analisi ottica e idrobiologica del Lago di Montepulciano (Provincia di Siena)
Stefania Mazzuoli, Luca Bracchini, Steven Loiselle, Arduino Massimo Dattilo, Silvia Focardi, Claudio Rossi
- 74 Caratterizzazione pluviometrica della Toscana centro-settentrionale
Massimiliano Fazzini

Il punto della situazione

- 84 L'Isola di Pianosa: un'occasione perduta?
Luca Maria Foresi, Paolo Piga

Orizzonti

- 94 L'esplorazione geologica dell'Antartide: una finestra sul "motore climatico" del pianeta
Franco Maria Talarico
- 102 Il Museo Paleontologico dell'Accademia Valdarnese del Poggio a Montevarchi
Michele Sani

Io, il lettore

- 110 Il giardino Vanni: l'ultima "area verde" sopravvissuta nel centro storico di Poggibonsi
Dilva Pisani
- 111 A proposito degli organismi geneticamente modificati (OGM)
Giancarlo Signorini
- 113 Visita alle "piccole cose" del Museo del Bosco
Gli alunni delle Classi IIA, IIB e IIIB

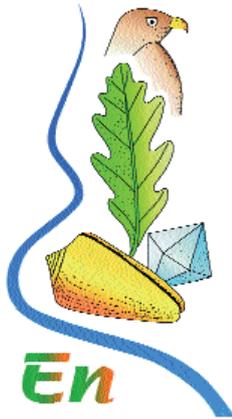
- 115 L'altra faccia del Chianti
Stefano Cinelli, Giacomo Guerrini
-

La parola all'immagine

- 118 Girovagando per i fondali marini della costa toscana meridionale
Gruppo fotografico "Il Graffio"
-

Schede naturalistiche

- 124 Un tuffo... nell'ippodromo!
Francesca Borghini, Paolo Bausani
- 127 I beni culturali di carattere pedologico: elementi per la loro valutazione
e prima individuazione dei pedositi toscani
Edoardo A.C. Costantini, Giovanni L'Abate



Se il compito primario di **Etruria natura** è quello di diffondere elementi conoscitivi per la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio naturale territoriale, questo secondo numero della rivista assolve pienamente tale compito con contributi di provato livello scientifico. Possiamo così, per quanto concerne lo stato di “salute” della Toscana meridionale, documentarci sulla valutazione del livello di “sostenibilità” del nostro territorio (E. Tiezzi), sugli strumenti idonei alla salvaguardia del Lago di Montepulciano (S. Mazzuoli e Collaboratori) e sull’inquinamento atmosferico da particelle sospese di differenti quartieri della città di Siena (M. Crezzini e Collaboratori). Possiamo poi informarci su aspetti del clima della nostra regione tramite elaborazione statistica di dati pluviometrici (M. Fazzini), nonché sulla fenomenologia geotermica dell’area di Larderello legata al suo particolare contesto geologico (E. Pandeli). Infine, in tema di fossili, è possibile essere introdotti allo studio dei mammiferi del Plio-Pleistocene continentale toscano (R. Fondi) e prendere atto della presenza

di resti di molluschi Parmacellidi in sedimenti lacustri del Quaternario valdelsano (A. Benocci e G. Manganelli).

Nella rubrica “Il punto della situazione” è di scena un gioiello dell’Arcipelago Toscano: Pianosa. L’articolo (L. M. Foresi e P. Piga) non si esaurisce in una semplice descrizione del patrimonio naturale di quest’isola, ma assume un significato di autentico valore culturale, sociale ed umano ripercorrendone la storia millenaria.

La bellezza incontaminata del mare di Pianosa, unita a quella dei fondali dell’Argentario visitati nel corso di un’insolita ed originale escursione subacquea (F. Borghini e P. Bausani), ci hanno indotto ad offrire ai lettori, attraverso la copertina della rivista, le suddivisioni interne di questa e la rubrica “La parola all’immagine”, una serie di fantasmagorici “quadri naturali” del mondo sommerso (Gruppo fotografico “Il Graffio”) di fronte alla nostra costa.

Oltre che soddisfare la prevalente vocazione territoriale della rivista, il nuovo numero presenta argomenti di più ampio respiro, che introducono il lettore nell’ambito delle ricerche sul lontano e misterioso continente antartico, risultate fondamentali per la comprensione delle problematiche climatiche globali (F. M. Talarico).

Se da un lato non possiamo che considerarci soddisfatti per il lavoro editoriale e redazionale concretizzatosi in questo numero, dall’altro ci riteniamo ancora lontani dall’obiettivo che ci siamo proposti, ovvero di coniugare nel modo più adeguato il carattere scientifico della rivista con quello divulgativo. E’ ovvio, infatti, che il lettore

potrà sentire **Etruria**natura come un prezioso strumento culturale, unicamente a condizione di assimilarne con facilità i contenuti. Rivolghiamo quindi ai futuri autori di articoli un ulteriore invito a collaborare più attivamente in questo senso.

Altro aspetto che vorremmo evidenziare, è la sentita necessità di una maggiore partecipazione in termini di contributi scritti e di aiuti nella diffusione della rivista da parte delle Scuole di ogni ordine e grado, delle Amministrazioni, delle Associazioni, ecc., di cui sono indubbi il potenziale di conoscenza e la capacità di entrare capillarmente nella società. Tutte queste sono viva-

mente invitate a chiedere informazioni in proposito all'Accademia ed, eventualmente, incontri esplicativi con il Comitato editoriale.

Pur non nascondendoci le difficoltà che abbiamo davanti, è nostra intenzione proseguire il cammino, nella consapevolezza che **Etruria**natura rappresenti un momento "forte" di conoscenza attraverso il quale sviluppare la coscienza dei cittadini del nostro territorio.

Il Comitato editoriale

La pagina dell'Accademia

La pagina dell'Accademia



Una murena (*Muraena helena*) nuota nel mare antistante l'Isola di Cerboli
Foto "Il Graffio", Follonica

Incrementare e diffondere la cultura scientifica non è solo un obiettivo di **Etruria**natura ma la ragione stessa dell'esistenza dell'Accademia dei Fisiocritici. L'impegno accademico in questa direzione si è negli ultimi anni particolarmente intensificato con la messa a punto di manifestazioni culturali che guardano al futuro senza dimenticare il passato, anzi riscoprendolo: scopo di queste iniziative è infatti quello di far conoscere la ricerca e l'innovazione, la storia della scienza senese e toscana, il patrimonio naturalistico del territorio.

Nel corso del 2005 molte sono le iniziative in calendario, organizzate dall'Accademia con taglio divulgativo, per avvicinare il vasto pubblico, e in particolare quello giovanile, a temi scientifici di largo interesse, tramite anche la valorizzazione dei tesori in essa custoditi.

Dalla fine di **Gennaio** fino a **Settembre** una mostra sugli anfibi, curata dall'accademico Giuseppe Manganelli del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena,

focalizza l'attenzione in particolare su quelli presenti nel Senese attraverso la realizzazione di alcuni diorami.

A **Febbraio** viene esposta in modo permanente, fra le collezioni già esistenti nel Museo di Storia Naturale dell'Accademia, una raccolta storica, ora riscoperta, di acque minerali del Senese. Si tratta di 26 bottigliette contenenti acque minerali della provincia di Siena - dalla Val d'Orcia alla Val di Chiana, dalla Val d'Ombrone alla Val d'Elsa e alla Val di Paglia - frutto di doni elargiti all'Accademia nella seconda metà dell'Ottocento da istituzioni come la Deputazione delle Acque di Chianciano o da personaggi quali il marchese Buonaventura Chigi Zondadari, il signor Agostino Orsi di Montalcino, il signor Pilade Mancinati. Vi si trovano ad esempio l'acqua "mefitico alcalina di Collalli", quella "jodico-salina detta di S. Vittorio", l'acqua "termo-sulfurea di S. Giacomo a Pelacane presso Rapolano", quella "termale dei Bagni di Vignone", tanto per citarne alcune. La nuova esposizione si inaugura con la conferenza del prof. Giovanni Agostini, Direttore della Scuola di Specializzazione in Idrologia Medica di Pisa.

Una lettura delle pagine di storia scritte anche dall'Accademia è ciò che segna il mese di **Marzo**: Fausto Barbagli, storico delle scienze naturali, e Alessandro Falassi, docente di antropologia culturale ed esperto in storia delle tradizioni popolari, trattano in una conferenza dei congressi degli scienziati italiani tenuti a Siena nell'Ottocento e delle feste organizzate per tali occasioni nella città del Palio.

Museo ancora in primo piano a **Maggio** con la partecipazione alla 26ª Giornata internazionale dei Musei promossa dall'International Council of Museums (ICOM) per il giorno 18, mentre il 23, con i riconoscimenti ai partecipanti e l'inaugurazione della mostra di loro elaborati, si celebra l'atto conclusivo del concorso "La Natura va al Museo. Dal Museo alla Natura", promosso dal Museo dell'Accademia e rivolto agli alunni delle scuole elementari di Siena e provincia. Dopo il successo dell'edizione dello scorso anno basata sull'esposizione temporanea "Gli Squali fossili del Senese" - a cui parteciparono duecento bambini - quest'anno il progetto didattico ruota intorno





Foto di Mario Laudisa.

alla mostra “Anfibi” e si articola in vari momenti: ogni classe partecipante incontra a scuola un esperto del Museo che illustra il contenuto dell’esposizione; poi si reca all’Accademia per la visita guidata alla mostra e successivamente realizza elaborati di varia tipologia attinenti al percorso svolto. In un’epoca in cui il mondo “virtuale” rischia di soppiantare, invece che supportare, quello “reale”, questa iniziativa mira a suscitare o stimolare nelle giovani generazioni l’interesse per l’osservazione diretta della natura.

Da **Giugno** a **Settembre** si possono ammirare animali in bronzo del grande scultore animalista Sirio Tofanari (Firenze 1886 – Milano 1969), esposti nelle gallerie del Museo di Storia Naturale dell’Accademia in una mostra curata dal prof. Alberto Olivetti della Facoltà di Lettere e Filosofia dell’Università di Siena.

In occasione della ricorrenza di San Giustino filosofo, patrono dell’Accademia, il 1° **Giugno** si inaugura il 315° Anno Fisiocritico con un argomento di attualità nel campo della bio-agricoltura. “Potenzialità e prospettive della genetica e delle

biologie vegetali per lo sviluppo di un’agricoltura sostenibile” è il tema sviluppato dal Prof. Michele Stanca, Direttore della Stazione di Fiorenzuola d’Arda (PC) dell’Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura di Roma - Consiglio Ricerche Agricole, Presidente della Società Italiana di Genetica Agraria e della Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie (AISSA).

Dalla ricerca d’avanguardia si passa alla preistoria per accendere i riflettori, a **Ottobre**, su un settore particolare del Museo dell’Accademia che, tra le tante collezioni riferite al territorio, espone in un’apposita vetrina anche reperti paleontologici. L’attenzione è rivolta in questa circostanza al Paleolitico in provincia di Siena, con una mostra curata da Simona Arrighi, Valentina Borgia, Margherita Freguglia e Martina Rosini dell’Associazione Archeologica Silex di Siena, che si occupa di ricerca e didattica della preistoria per le scuole elementari, medie e superiori.

A **Novembre** la sesta edizione del “Pomeriggio con l’Agricoltura” che tanto favore incontra anche fra i non addetti ai lavori con le sue conferenze che

informano su coltivazioni e tecniche innovative nella Toscana meridionale, su ricerca e sperimentazione agraria, su prospettive economiche e di valorizzazione del territorio.

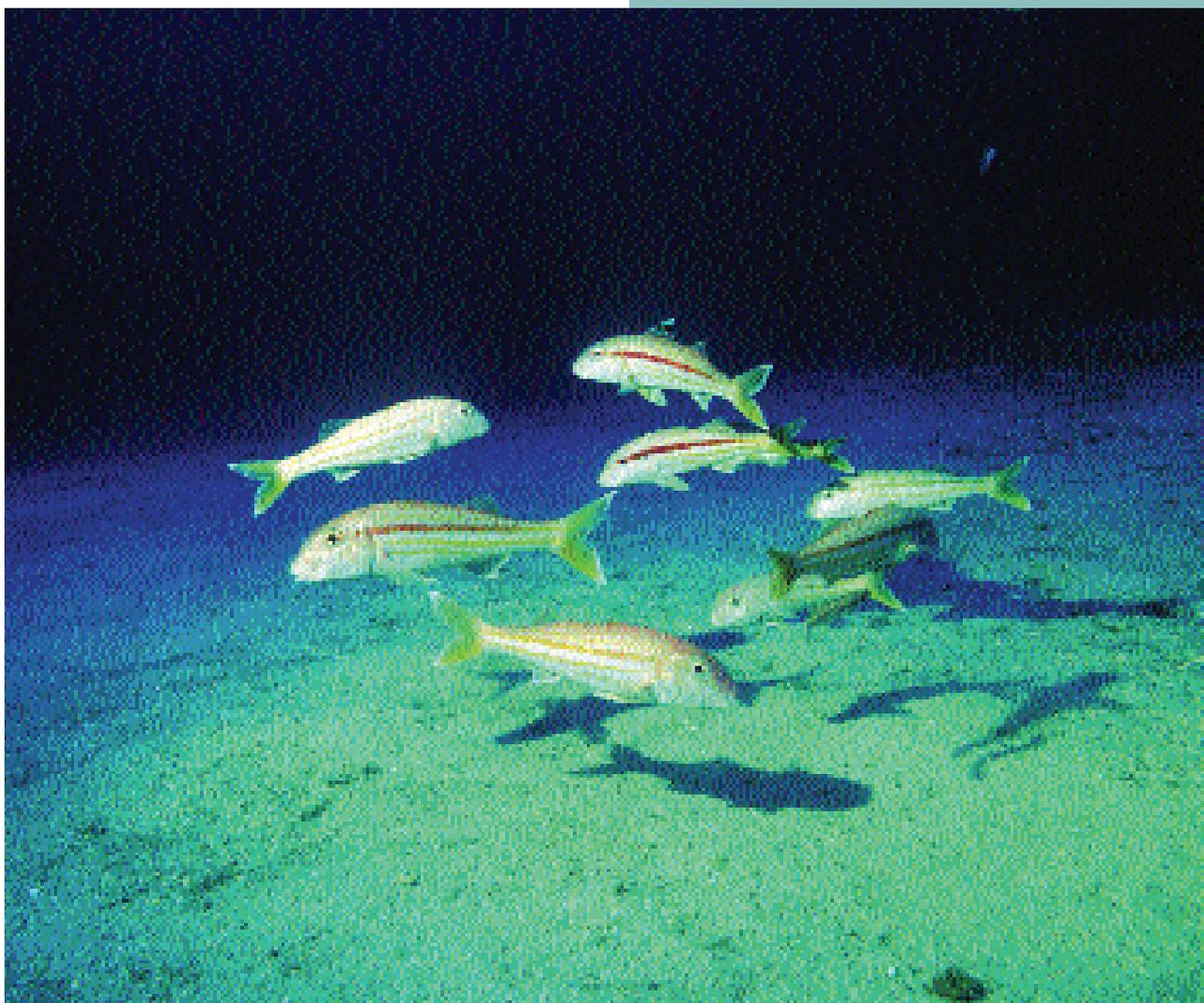
A **Luglio** e a **Dicembre** due appuntamenti fissi caratterizzanti l'attività dell'Accademia fin dalla sua fondazione: le cosiddette "adunanze scientifiche", in cui i risultati di ricerche disciplinari vengono portati all'attenzione dell'intera comunità scientifica e aperti a un pubblico dibattito.

Per celebrare il terzo centenario della morte di Pirro Maria Gabbrielli (1 aprile 1643 – 19 dicembre 1705), fondatore dell'Accademia delle Scienze di Siena detta de' Fisiocritici, nel

Gennaio 2006 sono in programma una Giornata di Studi sulla storia e il ruolo delle accademie scientifiche in Italia, una esposizione sulla nascita e le vicende della sua Accademia, una pubblicazione di una scelta delle opere inedite del personaggio per metterne in luce pensiero e attività.

Chiara Bratto

Per informazioni: Accademia dei Fisiocritici, Piazzetta Silvio Gigli, 2 (Piazza S. Agostino) - 53100 Siena; 057747002; fisiocritici@unisi.it; www.accademiafisiocritici.it.



Triglie di scoglio (*Mullus surmuletus*) intente a cercare cibo nei fondali del Golfo di Follonica
Foto "Il Graffio", Follonica

Il progetto SPIn-Eco: una prospettiva di sostenibilità per la Provincia di Siena

Enzo Tiezzi

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi
Via della Diana, 2a - 53100 Siena

La programmazione economica del futuro dovrà essere ecologica: nel senso che non potrà più fondarsi soltanto sui due parametri classici del “lavoro” e del “capitale” prodotti dall’uomo nei singoli territori, ma anche sul “capitale naturale”, ovvero l’insieme complessivo delle risorse naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, complessi geo-paleontologici), delle risorse antropiche (storico-artistico-culturali) e dei prodotti agricoli, della pesca, della caccia e della raccolta relativi ai territori stessi. E poiché il capitale naturale sta sempre più rivelandosi come il fattore limitante per qualsiasi vero sviluppo, si vede come oggi sia imprescindibile investire in questa direzione.

Affinché un territorio possa dirsi caratterizzato da sviluppo sostenibile non è sufficiente che esso sia “pulito”, ma è necessario: (1°) che il suo capitale naturale di tipo rinnovabile sia mantenuto intatto; (2°) che quello di tipo non rinnovabile sia sfruttato avendo l’accortezza di graduare la velocità dello sfruttamento sulla base di un corretto confronto con la velocità di creazione di sostituti rinnovabili.

In quanto fondato sull’analisi di un ampio insieme di indicatori eco-dinamici, il progetto SPIn-Eco, avviato nel 2001 dall’Amministrazione Provinciale di Siena con il finanziamento della Fondazione Monte dei Paschi e sotto la nostra direzione scientifica, rappresenta un potente strumento di valutazione del livello di sostenibilità di un qualsiasi territorio. Esso ha dimostrato che la Provincia di Siena, grazie soprattutto ad una bassa densità di popolazione, ad una grande disponibilità di risorse naturali e ad una buona economia di servizi, si colloca in una posizione sicuramente privilegiata rispetto a quella di molte altre situazioni italiane.

Il progetto e i suoi obiettivi

La Provincia di Siena è caratterizzata da una insolita specificità: pur essendo infatti inserita in un contesto di sviluppo tipico dei paesi industrializzati, risente solo in parte degli aspetti negativi, a livello ambientale, ad esso collegati. Questa particolarità è legata alla bassa densità di popolazione e all’attenzione alla natura ed al patrimonio storico-artistico che fanno tradizionalmente della Provincia di Siena un esempio di sviluppo “diverso”.

La consapevolezza di queste caratteristiche ha portato, nel 2001, la Fondazione Monte dei Paschi, in linea con la sua missione di tutela dell’ambiente e sviluppo del territorio, ad approvare e finanziare il Progetto SPIn-Eco (Sostenibilità della Provincia mediante Indicatori Ecodinamici), pre-

sentato dall’Amministrazione Provinciale di Siena.

Il progetto è stato affidato alla direzione nostra e della nostra *équipe* del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi dell’Università di Siena, con la collaborazione di ARCA Onlus e di molti ricercatori di Università e Enti di ricerca italiani, europei e americani.

Il progetto, che si concluderà alla fine del 2004, si pone l’obiettivo di esaminare il territorio senese (la Provincia e i 36 Comuni) mediante vari indicatori di sostenibilità, per offrire una valutazione delle risorse ambientali e della loro gestione nel territorio senese.

Lo scopo fondamentale del progetto è quello di capire quanto il sistema-Provincia di Siena sia non solo “bello”, “pulito” ed anche (relativamente) “ricco”, ma se e quanto questo sistema sia anche

“sostenibile”, in un’accezione scientificamente corretta.

In particolare, fra gli obiettivi del progetto c’è quello di comprendere lo stato del sistema Provincia di Siena rispetto ai principi di sostenibilità, e di individuare quali siano i fattori che, nel futuro, potrebbero rivelarsi limitanti per uno sviluppo ecologicamente compatibile e in grado di salvaguardare anche gli interessi delle future generazioni. Gli indicatori di sostenibilità possono essere considerati come fotografie delle condizioni attuali del sistema, ma possono anche essere utilizzati nel contesto di un regolare monitoraggio, fornendo così ai *decision-makers* basi scientifiche per le scelte di politica ambientale sul territorio.

Una parte del progetto ha focalizzato l’attenzione sull’analisi di alcuni sottosistemi di particolare rilevanza per il territorio senese: sono state così effettuate l’analisi del ciclo di vita di una produzione di vino, l’analisi energetica della produzione di cristallo e un’analisi ecologico-economica del turismo in Val di Merse. Quest’ultimo studio si propone di fornire nuovi modelli di analisi della questione del turismo e degli strumenti per valutare e ripartire in modo più sostenibile i costi ambientali ad esso legati. In particolare, l’aspetto più innovativo riguarda l’applicazione dell’Impronta ecologica al settore del turismo, che si rivela uno strumento efficace per distinguere l’impatto ambientale dei residenti da quello dei turisti, e per individuare dunque quali politiche mettere in atto per limitare tali impatti.

Nello spirito di valorizzazione e comprensione delle risorse presenti sul territorio, è stata anche affrontata la problematica della gestione delle risorse di particolare pregio come marmo e travertino, che da secoli rappresentano una caratteristica fondamentale della cultura e l’arte del territorio senese.

Un fatto importante da tenere in considerazione è che il progetto SPIn-Eco getta le basi per elaborare un’analisi comparata per altre realtà territoriali e Provinciali in Italia e in Europa, basate su un’analisi unica al mondo per completezza, diversificazione e dettaglio.

Le basi scientifiche dello sviluppo sostenibile

La sostenibilità deve essere intesa come *l’insieme di relazioni tra le attività umane, con la loro dinamica, e la biosfera, con le sue dinamiche, generalmente più lente*. Economia, ecologia e scienze fisiche sono ormai strettamente legate tra loro e l’economia classica non è più in grado di dare risposte adeguate alla complessità dei problemi dell’ambiente e dello sviluppo. Sono però molti, ormai, gli sforzi della comunità scientifica per definire una nuova scienza economica che sappia integrare tra loro questi diversi aspetti; è su questa strada che l’americano Robert Costanza definisce una nuova disciplina, l’*Ecological Economics*.

L’economia ecologica è un tentativo di superare le frontiere delle discipline tradizionali per sviluppare una conoscenza integrata dei legami tra sistemi ecologici ed economici. Un obiettivo chiave in questa ricerca è quello di sviluppare modelli sostenibili di sviluppo economico, distinti dalla crescita economica che non è sostenibile in un pianeta finito. Un aspetto chiave nello sviluppare modelli sostenibili di sviluppo è il ruolo dei vincoli: vincoli termodinamici, limiti biofisici, limiti di risorse naturali, limiti all’assorbimento dell’inquinamento, limiti demografici, vincoli imposti dalla *“carrying capacity”* del pianeta e, soprattutto, limiti della nostra conoscenza rispetto a ciò che questi limiti sono e a come influenzano il sistema.

Le nuove teorie dello *sviluppo sostenibile* e dell’economia ecologica ci pongono allora davanti un nuovo paradigma: non più un’economia basata su due parametri, il lavoro e il capitale, ma un’economia che riconosce l’esistenza di tre parametri: il *lavoro*, il *“capitale prodotto dall’uomo”* e il *“capitale naturale”*. Intendendo per *capitale naturale* l’insieme dei sistemi naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, territorio), ma anche i prodotti agricoli, i prodotti della pesca, della caccia e della raccolta e il patrimonio artistico-culturale presente nel territorio. Dato che il capitale naturale sta diventando il fattore limitante per un vero sviluppo, si vede come sia fondamentale oggi investire in questa direzione.

Herman Daly, uno dei fondatori della teoria

dello Sviluppo Sostenibile, ha così definito i due principi guida per la realizzazione della sostenibilità: “Per la gestione delle risorse ci sono due ovvi principi di sviluppo sostenibile. Il primo è che la velocità del prelievo dovrebbe essere pari alla velocità di rigenerazione (rendimento sostenibile). Il secondo, che la velocità di produzione dei rifiuti dovrebbe essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti vengono emessi (capacità di assorbimento). Le capacità di rigenerazione e di assorbimento devono essere trattate come capitale naturale, e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come consumo di capitale e perciò non sostenibile.”

Oggi stiamo vivendo la transizione da un'economia a “mondo vuoto” a un'economia a “mondo pieno”. E in questa seconda fase l'unica strada per raggiungere la sostenibilità passa dall'investire nella risorsa più scarsa, ovvero nel fattore limitante, che sempre di più risulta essere quello delle risorse naturali.

Sviluppo sostenibile significa quindi investire nel capitale naturale e nella comprensione scientifica dei cicli biogeochimici globali, che sono la base stessa del funzionamento corretto della biosfera. “Il mondo - scrive Daly - sta passando da un'era in cui il fattore limitante era il capitale prodotto dall'uomo a un'era in cui il fattore limitante è quel che rimane del capitale naturale. Oggi la quantità di petrolio greggio estratta è limitata dalla disponibilità di petrolio nei pozzi (o anche dalla capacità della biosfera di assorbire l'anidride carbonica), non dalla capacità di estrazione; la produzione agricola è spesso limitata dalla disponibilità d'acqua, non dai trattori o dalle mietitrici. Siamo passati da un mondo relativamente ricco di capitale naturale e privo di capitale prodotto (e di uomini) a un mondo che è, al contrario, povero di capitale naturale e ricco di capitale prodotto.”

Lo sviluppo sostenibile richiede quindi che il capitale naturale di tipo rinnovabile sia mantenuto intatto. La categoria delle risorse naturali non rinnovabili, che non possono essere conservate se non rinunciando completamente al loro uso, possono invece essere sfruttate in maniera “quasi sostenibile”, graduando la velocità del loro sfruttamento sulla base di un corretto confronto con la

velocità di creazione di sostituti rinnovabili. L'uso quasi sostenibile di risorse non rinnovabili richiede, infatti, che ogni investimento nello sfruttamento della risorsa sia bilanciato da un investimento compensativo in una risorsa alternativa di tipo rinnovabile che possa garantire lo stesso servizio.

Da quanto detto si capisce come sostenibilità non significhi avere un ambiente locale “pulito”: questa è condizione necessaria, ma tutt'altro che sufficiente, perché un sistema possa dirsi sostenibile. Non può dirsi sostenibile un sistema territoriale che faccia produrre ad altri tutti i beni che servono al suo mantenimento; oppure che esporti i suoi rifiuti all'esterno. Quindi *sostenibilità va intesa in senso globale*, considerando anche tutte le interazioni che il sistema di interesse ha con l'esterno.

Le metodologie di valutazione della sostenibilità e i risultati per la Provincia

Le politiche territoriali e di programmazione, a livello nazionale e internazionale, muovono ormai dall'assunto della sostenibilità come requisito indispensabile per lo sviluppo. Il problema è allora definire metodologie di valutazione dei sistemi territoriali che consentano la descrizione e la quantificazione dei fenomeni rilevanti per lo sviluppo sostenibile, attraverso l'utilizzo di indicatori sintetici. Gli indicatori devono assicurare la comprensibilità, l'affidabilità e la confrontabilità internazionale dei dati.

È opportuno sottolineare, peraltro, come un indicatore che valuti lo sviluppo sostenibile debba necessariamente avere caratteristiche differenti rispetto a un indicatore di stato dell'ambiente o di pressione (modelli Pressione-Stato-Risposta). L'indicatore di sostenibilità è collegato, a differenza dell'indicatore di pressione-stato-risposta, a un obiettivo e a un tempo di conseguimento; inoltre, lo stesso indicatore può essere riferito a una molteplicità di fenomeni, anche non omogenei, che riflettono sia gli aspetti prettamente ambientali sia quelli economico-sociali che concorrono allo sviluppo.

La sostenibilità è un obiettivo globale da perseguire a partire da una dimensione locale, in linea

con il famoso slogan “pensare globalmente agire localmente” introdotto nel 1992, in occasione dell’Earth Summit di Rio de Janeiro.

I risultati ottenuti da un’analisi di sostenibilità basata su questi requisiti rappresentano una parte fondamentale della procedura di pianificazione e programmazione del territorio, fornendo un quadro di conoscenza approfondito e sintetico delle principali attività antropiche presenti sul territorio, delle quantità di risorse che alimentano il sistema economico-sociale e, pertanto, una misura degli impatti di tali attività sull’ambiente.

Il lavoro di ricerca e di applicazione degli indicatori di sostenibilità è un requisito fondamentale per avviare una nuova politica ambientale consapevole ed efficace, in grado di promuovere e garantire la conservazione del capitale naturale.

I campi d’applicazione delle metodologie qui presentate sono diversi e molto ampi. Le informazioni che si possono ottenere diventano requisiti importanti per garantire la validità di una scelta strategica o operativa e la qualità di un processo decisionale. La consapevolezza ecologica e la sostenibilità ambientale e territoriale sono concetti affatto scontati, e in molti casi soltanto indagando direttamente sulla dimensione locale di problematiche a così ampio raggio, possono costituire un autentico valore aggiunto. La costruzione di uno sfondo di conoscenza attraverso metodologie ed indicatori olistici, insieme alla definizione di un orizzonte di riferimento ispirato alla sostenibilità, rispetto al quale orientare le scelte di sviluppo futuro, permettono di percorrere sentieri di sviluppo fondati su una chiara lettura del contesto reale rispetto al quale si opera e degli effettivi vincoli termodinamici imposti dalla natura.

L’ANALISI eMERGETICA

L’analisi eMergetica fornisce una valutazione del

valore “ambientale” di ogni risorsa, considerando i processi “reali” che stanno alla base dei sistemi antropici e di quelli naturali. Il presupposto da cui muove l’analisi è che tutto ha un contenuto energetico e richiede flussi di energia e di materia per essere prodotto; la valutazione di tali flussi consente all’eMergia di tener conto del lavoro che l’ambiente ha dovuto svolgere per produrre un certo bene o prodotto.

L’analisi eMergetica è dunque un utile strumento per definire politiche di gestione del capitale naturale e di quello prodotto dall’uomo che siano sostenibili, non solo da un punto di vista economico, ma anche ambientale.

L’eMergia viene definita come l’energia solare usata in modo diretto e indiretto per ottenere un bene, una data energia o un servizio, e viene misurata in Joules solari (sej). Quanto più grande risulta essere il flusso eMergetico complessivo necessario a supportare un certo processo, maggiore è la quantità di energia solare che questo “consuma”, ovvero maggiore è il costo ambientale presente e passato necessario a mantenerlo.

La metodologia eMergetica identifica i flussi di energia e risorse che attraversano il sistema che si analizza e le criticità del territorio (Fig. 1 e dia-

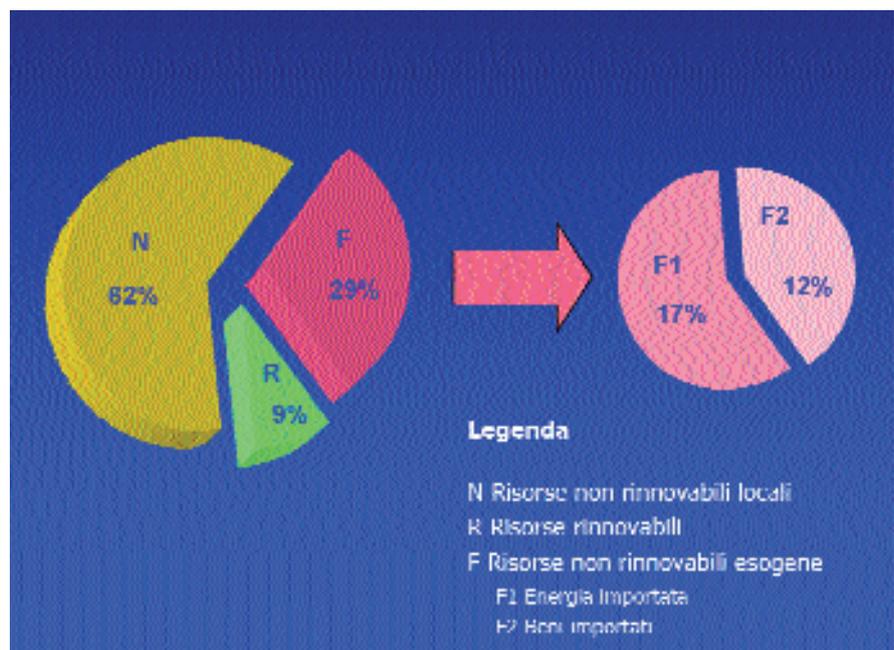


Fig. 1. Ripartizione dell’uso delle risorse nella Provincia di Siena. Il sistema territoriale è alimentato da flussi di risorse di diverso tipo che l’analisi energetica permette di classificare. Nel caso della Provincia di Siena, le risorse locali non rinnovabili (materiali di cava, erosione dei suoli, acqua, ecc.) hanno il peso percentuale maggiore. Quelle importate, di minore entità, rappresentano un sistema non imperniato sui processi di trasformazione e nello stesso tempo poco dipendente da fonti di approvvigionamento esterne.

gramma energetico in figura 3), e l'obiettivo ultimo è quello di offrire degli indicatori di sostenibilità che, sulla base dei flussi di eMergia che insistono sul sistema, siano in grado di condensare tutte le informazioni raccolte. Tali indicatori si rivelano importanti strumenti per operare una valutazione di raffronto su scala sia temporale sia spaziale, confrontando cioè i risultati in momenti diversi e tra sistemi diversi (Fig. 2). In tal modo l'eMergia è utile per fornire indicazioni sul percorso dello sviluppo, sull'uso delle risorse (impatto ambientale ed efficienza di conversione), sulla sostenibilità nel lungo periodo e sull'equilibrio degli scambi commerciali con altri paesi.

L'analisi eMergetica di Siena mostra che il rapporto fra le risorse non rinnovabili e quelle rinnovabili è fra i più favorevoli che siano emersi con questo tipo di analisi, sia in Italia sia in altre parti del mondo. Emerge un settore su cui porre

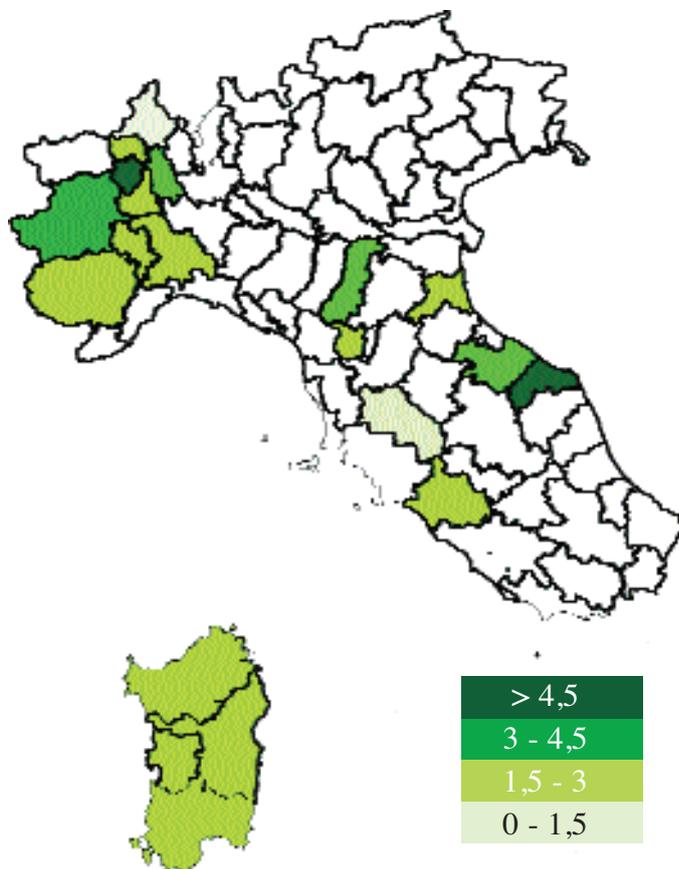


Fig. 2 - Mappa di uno degli indicatori eMergetici utilizzati per l'analisi della Provincia di Siena, il Rapporto di Impatto Ambientale, calcolato rapportando le risorse non rinnovabili (sia di origine locale che importate) a quelle rinnovabili di diretta derivazione ambientale. Alla Provincia di Siena è attribuito un numero indice pari ad 1, per comparare i risultati con le altre province studiate con l'analisi eMergetica. Il territorio senese appare tra i meno soggetti alle pressioni ambientali dovute all'attività dell'uomo.

l'attenzione per la programmazione futura, quello dell'estrazione dei materiali da cava, che sono risorse non rinnovabili.

L'ANALISI eMERGETICA

L'eXergia è una funzione termodinamica che misura il massimo lavoro che può essere ricavato in un sistema quando esso viene portato dallo stato in cui si trova a uno stato di equilibrio termico, meccanico e chimico con l'ambiente in cui il sistema è immerso. La misura dell'eXergia dipende quindi da una serie di gradienti, come per esempio quello di temperatura, che il sistema studiato ha rispetto al suo ambiente; è una funzione definibile soltanto conoscendo le variabili di sistema e ambiente contemporaneamente. In un'ottica di sostenibilità, può risultare di particolare rilievo fornire un quadro d'insieme delle risorse utilizzate, siano esse materiali o energetiche, per quantificarne il consumo: l'analisi eXergetica offre una comune "unità di misura" per tutti i flussi, materiali ed energetici, che concorrono ad alimentare un dato sistema. Ogni flusso può, infatti, essere espresso in unità eXergetiche, e il contenuto eXergetico di un oggetto può essere calcolato attraverso un fattore di conversione (diverso per la materia e l'energia), che deriva dallo sviluppo dell'equazione termodinamica che descrive l'eXergia.

L'analisi eXergetica propone dunque una stima del valore fisico delle risorse naturali che può essere un valido termine di confronto per un ripensamento del valore economico che il mercato attribuisce alle risorse stesse. Il concetto di eXergia evidenzia inoltre una gerarchia tra le diverse forme di energia, basata sulla capacità di fornire lavoro utile. La considerazione della qualità dell'energia, oltre che della quantità, consente di gestire in maniera più razionale le risorse naturali, evitando di "sprecare" quelle pregiate, ovvero ad alta eXergia, al fine di ottenere prodotti a bassa qualità.

Dall'analisi eXergetica si nota come il

settore più importante dell'economia della Provincia, quello terziario, sia particolarmente efficiente, anche rispetto alla media italiana. Anche questo tipo di analisi conferma una scarsa efficienza nel settore dei trasporti.

IL BILANCIO DEI GAS SERRA

Nel 1990, l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ha pubblicato il primo rapporto sul clima, nel quale la problematica "effetto serra" si evidenzia come la principale minaccia alla stabilità climatica del pianeta. Sulla

riferiti al 1990); tuttavia, esso ha reso l'opinione pubblica più consapevole della necessità di valutare il contributo di ogni paese alle emissioni climalteranti, ed è cresciuta la volontà di tener conto del bilancio dei gas serra nelle politiche ambientali locali.

Al fine di stilare bilanci attendibili in merito alle emissioni specifiche di ogni paese, l'IPCC ha redatto linee guida universalmente applicabili che contemplano gran parte delle fonti di emissione di gas climalteranti. Tutti i gas a effetto serra sono considerati nel bilancio nei termini di CO₂ equivalente, attraverso un fattore di conversione legato al loro potere "climalterante" (*Global Warming*

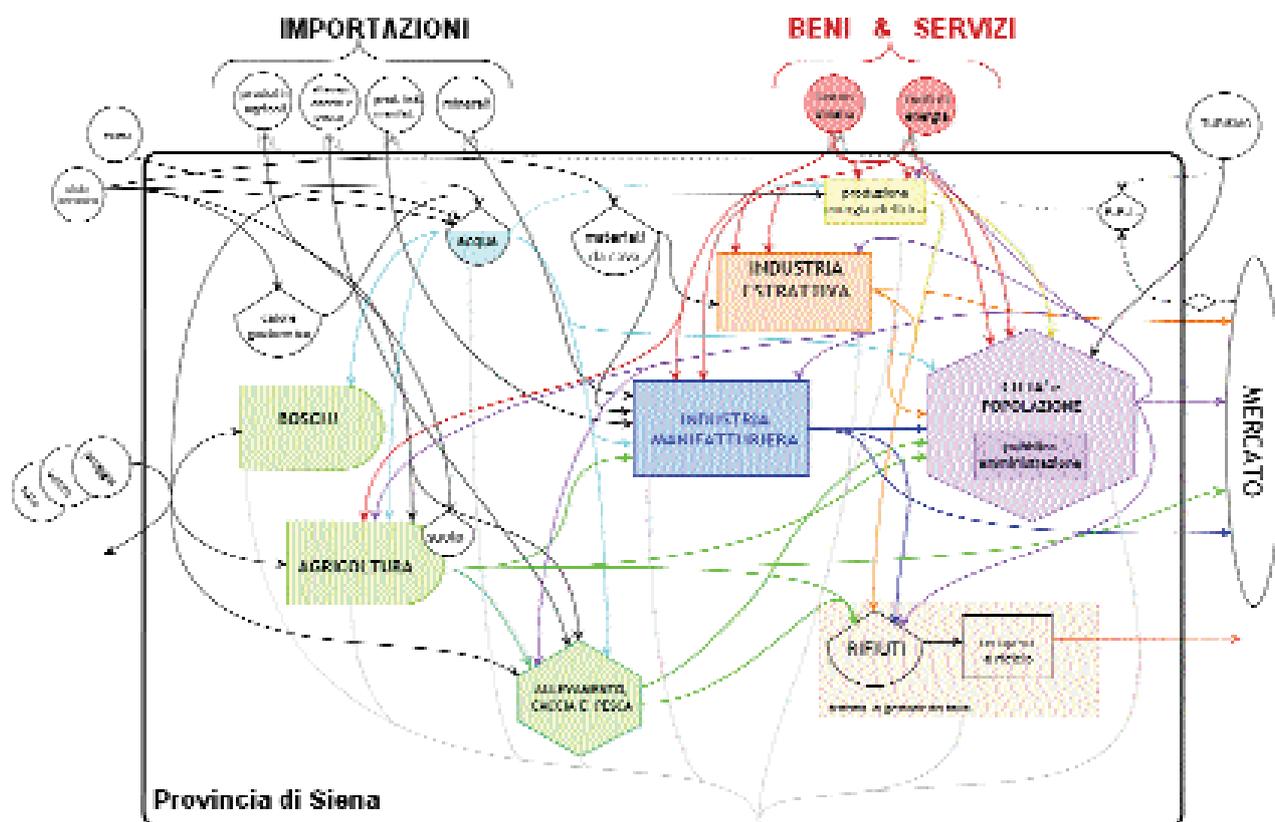


Fig. 3 - Diagramma energetico della Provincia di Siena. Attraverso l'uso di figure denominate "Energy System Symbols", è possibile individuare all'interno dei confini di un sistema, per quanto esso possa risultare complesso, gli elementi fondamentali che lo caratterizzano, così come le risorse che lo alimentano e le relazioni tra le parti che si intessono al suo interno. Una schematizzazione del genere serve anche ad individuare le informazioni che occorrono per svolgere l'analisi (ogni freccia corrisponde ad un flusso al quale bisogna dare una connotazione numerica).

base di questo rapporto, tra il 1990 ed il 1997, è stato elaborato quello che prende il nome di "Protocollo di Kyoto", che fissa gli obiettivi specifici di riduzione delle emissioni climalteranti per ogni nazione. Al momento, il protocollo non risulta vincolante, poiché necessita della ratifica da parte di un numero di paesi che rappresenti almeno il 55% del totale delle emissioni mondiali (dati

Potential - GWP). Gli stessi potenziali non sono invece stati stimati per i gas serra indiretti, a causa della già citata incertezza circa il loro effetto, ed essi non vengono dunque inseriti nel bilancio serra finale.

Oltre all'effetto "climalterante" dei gas, l'altro importante elemento di cui è necessario tener conto nel redigere il bilancio finale riguarda

l'assorbimento dell'anidride carbonica da parte della biomassa vegetale del sistema studiato. La capacità di fissazione della CO₂ attribuibile alle aree verdi compare infatti nel bilancio serra, sottraendosi alle emissioni di CO₂ equivalente.

Il bilancio dei gas serra proposto dall'IPCC può, a tutti gli effetti, essere considerato uno strumento di valutazione della sostenibilità di un sistema territoriale ed essere applicato con profitto anche a territori più piccoli di una nazione. La divisione delle potenziali fonti di emissioni nelle categorie mostrate in precedenza permette inoltre di far emergere utili suggerimenti di intervento per le politiche locali. Il monitoraggio delle emissioni nette nel tempo è successivamente in grado di valutare se e come la gestione del territorio avvicini lo sviluppo ai criteri della sostenibilità.

Il grafico (Fig. 4) evidenzia i risultati del bilancio dei gas serra per la Provincia di Siena, da cui si evince che l'emissione complessiva di gas serra supera la capacità del sistema di assorbimento. L'emissione netta rappresenta la differenza fra l'emissione totale e la quota che viene assorbita dalla biomassa presente nel sistema. Sono riportati anche i valori dell'emissione netta relativi ad altre due province: Ancona e Modena.

L'IMPRONTA ECOLOGICA

L'Impronta Ecologica (IE), tra gli indicatori ormai più divulgati grazie al suo carattere intuitivo, è un indicatore sintetico di sostenibilità ambientale, proposto da Mathis Wackernagel e William Rees, in grado di stimare l'impatto che una popolazione esercita sull'ambiente con i propri consumi; la IE quantifica l'area totale di ecosistemi terrestri e acquatici necessaria per fornire, in modo sostenibile, tutte le risorse utilizzate e per assorbire, sempre in modo sostenibile, tutte le emissioni prodotte. Si può dire che l'analisi dell'IE rovescia il concetto di *Carrying capacity* (Capacità di carico): l'attenzione infatti non viene posta sulla determinazione della massima popolazione umana che un'area

può supportare, bensì sul computo del territorio produttivo effettivamente utilizzato dai residenti, indipendentemente dal fatto che questa superficie coincida con la porzione di territorio su cui la popolazione stessa vive.

Per calcolare l'IE si analizzano i consumi medi della popolazione, in beni e servizi economici, e si valuta quanti servizi naturali sono stati utilizzati per la produzione di quel bene o servizio economico, calcolando l'estensione di territorio che garantisce il relativo apporto di risorse per il consumo e/o per l'assorbimento delle emissioni.

Se l'IE rappresenta l'ammontare della richiesta di servizi naturali da parte della popolazione locale, la capacità di erogazione di servizi naturali degli ecosistemi locali rappresenta invece la biocapacità, ovvero l'estensione totale di territori ecologicamente produttivi presente nella regione considerata. La comparazione tra IE e biocapacità consente di definire un vero e proprio bilancio ambientale, sottraendo all'offerta locale di superficie ecologica (la biocapacità) la domanda di tale superficie da parte della popolazione locale (l'Impronta Ecologica). A un valore negativo del bilancio corrisponde una situazione di *deficit* ecologico: questo indica una situazione di potenziale insostenibilità ambientale, nella quale i consumi di

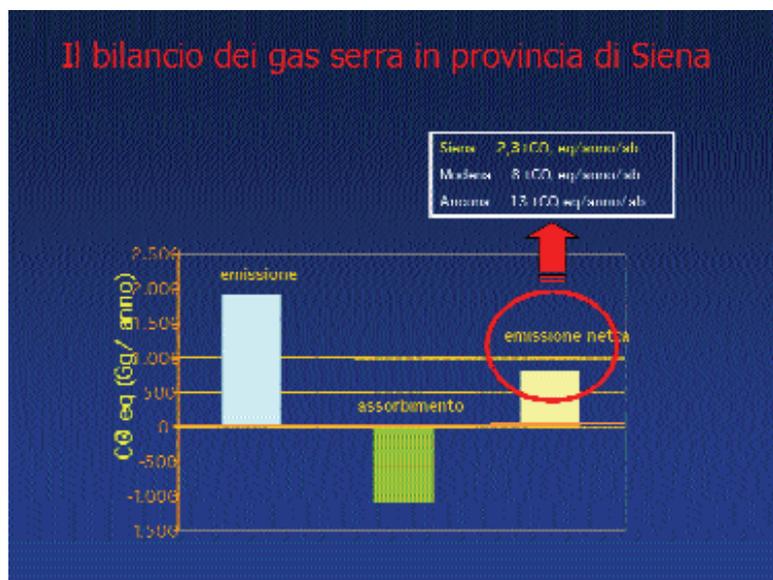


Fig. 4 - Il bilancio dei gas serra della Provincia di Siena. Il diagramma rappresenta la quantità di emissioni imputate all'azione antropica sul territorio (consumi di energia, produzione di rifiuti, uso di particolari risorse, pratiche agricole, ecc.) rispetto alla capacità di assorbimento naturale da parte degli ecosistemi locali (superficie forestale). La differenza tra le due è l'emissione netta. I confronti con altre realtà territoriali consentono di avere un'idea delle situazioni locali e nazionale, situazioni generalmente di insostenibilità.



Fig. 5 - Rappresentazione grafica della differenza fra Biodisponibilità e Impronta Ecologica per la Provincia di Siena, la Provincia di Grosseto e l'Italia (quest'ultima ripresa dal *Living Planet Report*, WWF, 1999, su dati del 1996). La situazione di *deficit ecologico* in cui si trovano tutti i Paesi dell'Occidente industrializzato, compresa l'Italia, rappresenta la tendenza ad appropriarsi di un territorio che spetterebbe ad altri. Ciò che noi oggi usiamo viene sottratto ad altri Paesi o, addirittura, a coloro che verranno dopo di noi. Le Province di Siena e di Grosseto presentano un pareggio in virtù di una grande disponibilità di risorse naturali (biocapacità) che compensa livelli di consumo non troppo diversi da quelli medi nazionali (Impronta Ecologica).

risorse naturali sono superiori alle capacità di rigenerazione degli ecosistemi locali.

Dall'Impronta ecologica emerge che la

Provincia di Siena ha un bilancio in pareggio fra quello che i suoi abitanti globalmente consumano e quella che è la disponibilità di risorse complessive di tipo rinnovabile (la media italiana ha un'impronta che è quasi tre volte superiore alla "biodisponibilità"); anche se naturalmente l'Impronta complessiva è alta rispetto al livello medio mondiale, tipica di un paese industrializzato. La figura 5 mostra il confronto tra la situazione senese e quelle grossetana e italiana.

IL REMOTE SENSING

Fra le metodologie più innovative per il monitoraggio a diverse scale spaziali possiamo annoverare l'analisi di dati di telerilevamento con immagini multiband satellitari. L'utilizzo di immagini satellitari può costituire un'importante fonte di dati storici riguardanti le variazioni nella salute delle aree verdi, nella qualità e quantità di aree abitate, nella qualità dell'acqua, nella morfologia dei bacini idrici e nell'uso del suolo in generale. Dati georeferenziati sono essenziali per poter attuare un programma particolareggiato di gestione del territorio. L'integrazione dell'informazione su larga scala, ottenuta tramite il telerilevamento, e del monitoraggio *in situ* è una metodologia innovativa in grado di combinare un'analisi raffinata dei parametri chiave dell'ecosistema e le più recenti innovazioni nel campo della tecnologia satellitare. Ugualmente l'utilizzo di indicatori su larga scala facilita un monitoraggio dell'attuale programma di gestione territoriale e fornisce indicazioni per creare uno sviluppo più equilibrato. L'utilizzo e lo sviluppo di tali indicatori basati sui dati satellitari rappresentano un campo nuovo in cui diverse competenze trovano un'area di collaborazione. Sono utilizzati indicatori delle emissioni energetiche dalle aree

urbane per stimare le variazioni nel consumo energetico e nella popolazione; indici della vegetazione nei sistemi agricoli; indicatori qualitativi per

sistemi acquatici; indicatori energetici ed entropici e numerosi altri, ognuno creato per confrontare realtà diverse o confrontare lo stesso ambiente in momenti diversi (anni e/o stagioni). Immagini *multiband* possono dare indicazioni delle caratteristiche del territorio a diversi livelli, tutto con una georeferenziazione che facilita una programmazione puntuale e un monitoraggio a lungo termine.

Dall'analisi delle immagini satellitari (Fig. 6) risulta che il territorio della Provincia di Siena ha una superficie boschiva pari al 41% del totale (contro il 19% dell'Italia) e un 58% di superficie dedicata all'agricoltura (71% per l'Italia). Questa grande disponibilità consente, come evidenzia il Bilancio dei gas serra, di "riassorbire" i due terzi delle emissioni di gas serra, quelli cioè che, come l'anidride carbonica, sono responsabili dell'effetto serra. In altre realtà italiane il dato si ferma al 10%, anche se il settore più critico è il medesimo: i trasporti.

Conclusioni

I risultati finora conseguiti dal Progetto SPIn-Eco (analisi del territorio Provinciale nel suo insieme e di 28 Comuni su 36) evidenziano una realtà sicuramente privilegiata rispetto a molte altre situazioni italiane, grazie soprattutto alla bassa densità di popolazione, alla grande disponibilità di risorse naturali e a una buona economia di servizi.

Grazie agli strumenti offerti dal Progetto SPIn-Eco, negli ultimi giorni del 2003 l'Amministrazione Provinciale di Siena ha potuto ottenere, prima in Italia, la certificazione ambientale ISO 14001, che ne attesta l'elevato standard ambientale ma soprattutto la continuità di un processo di miglioramento della qualità del territorio. Oltre a riguardare gli aspetti di programmazione delle politiche provinciali, questa certificazione ingloba anche i risultati raggiunti nella valutazione scientifica della sostenibilità e si presta ad essere quanto di più vicino ad una vera e propria certificazione del territorio.

La certificazione ambientale rappresenta infatti un'adesione volontaria a un Programma di Gestione Ambientale che, oltre a fare una fotogra-

fia del sistema, si prefigge un continuo miglioramento dell'efficienza ambientale. Gli indicatori calcolati in questo studio rientrano a pieno titolo in un sistema di gestione ambientale e, a differenza degli indicatori Stato-Pressione-Risposta comunemente usati, monitorano la *performance* ambientale seguendo i principi della sostenibilità.

Ma la certificazione è solo uno dei risultati collaterali del Progetto SPIn-Eco. Il lavoro di questi anni ha infatti consentito di incrementare i contatti e gli scambi con numerose università italiane e straniere e di consolidare presso il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi dell'Università di Siena un importante gruppo di ricerca interdisciplinare sullo sviluppo sostenibile.

Il gruppo che si è andato costituendo attorno al progetto SPIn-Eco comprende ricercatori, dottorandi, borsisti e tecnici e si avvale di competenze di fama nazionale e internazionale; per citarne solo alcuni: Sven Erik Jørgensen e Søren Nors Nielsen della Royal Danish School of Pharmacy di Copenhagen, Robert Costanza, dell'Università del Vermont, Herman Daly e Trista Patterson, dell'Ecological Economics Institute dell'Università del Maryland, (USA), Christian Leipert dell'Università di Berlino, Margaret Kneller che proviene dalla Columbia University, New York (USA).

Sono ormai molti gli avvenimenti che hanno evidenziato l'importanza che il Progetto ha rivestito: dai diversi congressi internazionali che si sono svolti a Siena, legati al tema dello sviluppo sostenibile, che hanno ormai connotato, anche per la stampa nazionale, Siena come capitale scientifica internazionale dello sviluppo sostenibile (Ecosud 2003, "Quarta Conferenza Internazionale sugli Ecosistemi e lo Sviluppo Sostenibile", Sustainable City 2004 e Brownfields 2004), al prestigioso premio Prigogine Awards Junior conferito a Simone Bastianoni dell'Università di Siena, motivato proprio dall'attività svolta per SPIn-Eco.

I giovani dottorandi e ricercatori del gruppo sono stati protagonisti di importanti scambi internazionali: con il Massachusetts Institute of Technology di Boston, con l'équipe di Holger Kantz del Max Planck Institut di Dresda e con la scuola di Sven Jørgensen di Copenhagen.

Sulla base del lavoro svolto, è ora possibile accet-

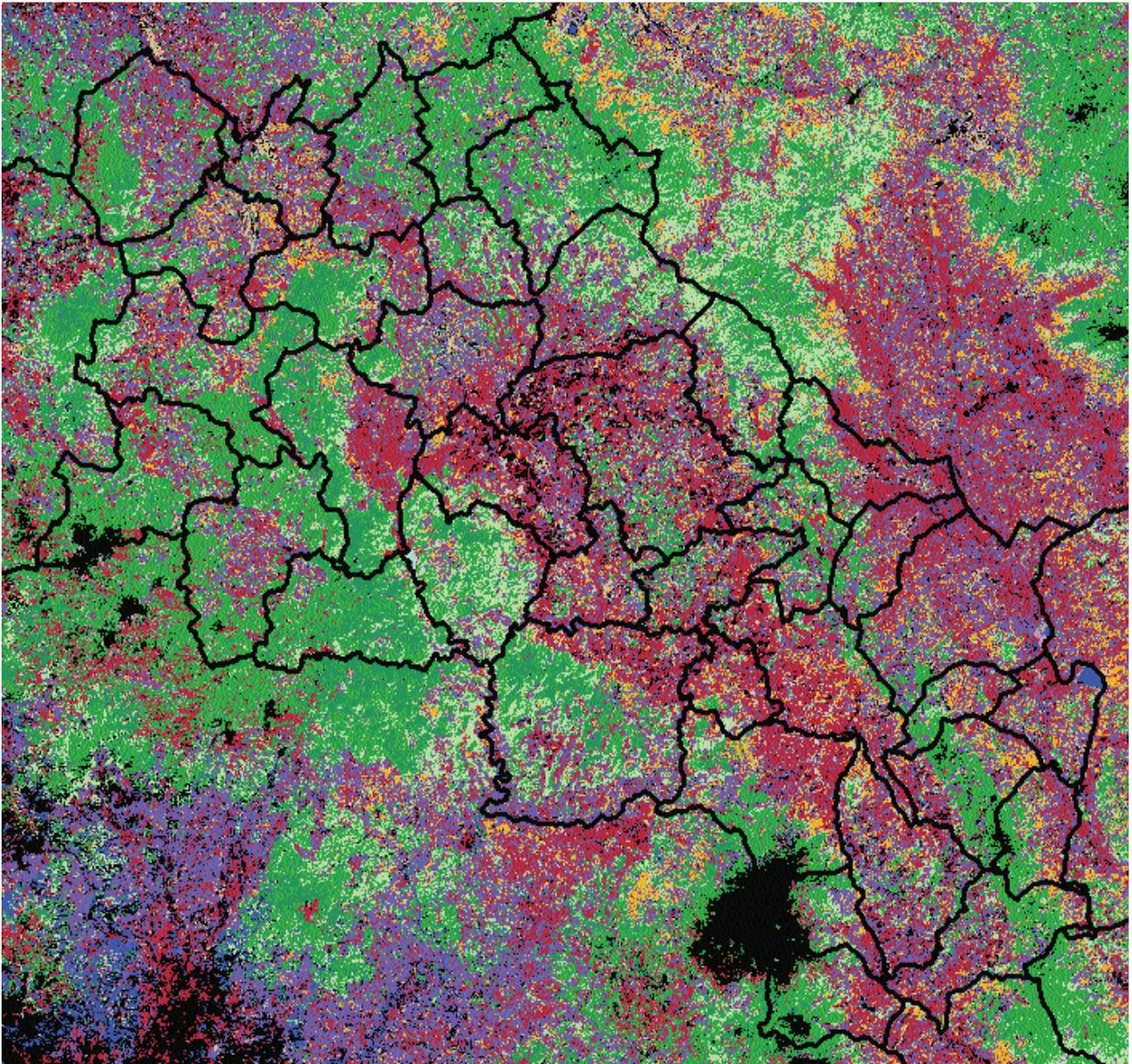


Fig. 6 - Immagine satellitare della Provincia di Siena (le demarcazioni si riferiscono ai territori dei suoi 36 Comuni) e classificazione per tipologia d'uso del territorio. Le tipologie più rappresentate sono: seminativi, vegetazione boschiva, vigneti, oliveti. I campi di riso sono presenti solo nella Valle del Merse. Le elaborazioni delle immagini da satellite costituiscono un patrimonio di informazioni di importanza rilevante da affiancare agli strumenti tradizionali di verifica dell'uso del suolo, dell'energia e delle risorse.

tare la sfida ecologico-economica dello sviluppo sostenibile. Una sfida che si gioca con nuove regole rispetto a quelle classiche sia dell'economia, sia dell'ecologia, sia dell'ingegneria e della fisica dell'ener-

gia. In un certo senso gli indicatori studiati delimitano un nuovo campo di gioco, quello dove dovranno in ogni modo giocare i nostri figli e nipoti, le future generazioni.

I Parmacellidi fossili dei Calcari di Pian del Casone (Alta Val d'Elsa)

Andrea Benocci, Giuseppe Manganelli

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti"

Via P.A. Mattioli, 4 – 53100 Siena

Nei sedimenti quaternari di origine lacustre che affiorano nell'Alta Val d'Elsa sono stati rinvenuti resti di Parmacellidi. Si tratta di Molluschi Gasteropodi di aspetto limaciforme, assenti nella fauna attuale del nostro paese e molto rari come fossili.

Nell'alta Val d'Elsa affiorano estesi depositi lacustri costituiti da argille contenenti lenti di lignite e da potenti spessori di rocce carbonatiche (marne calcaree e calcari fini), queste ultime note

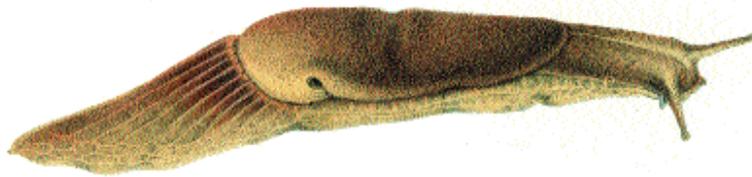


Fig. 1 – Habitus di un parmacellide vivente: *Parmacella deshayesi* (da una figura della "Malacologie de l'Algérie" di J.R. Bourguignat, 1864).

come "Calcari di Pian del Casone". L'età esatta di questa formazione, particolarmente diffusa nell'area di Colle di Val d'Elsa e di San Gimignano, non è stata ancora definitivamente chiarita. I giacimenti di lignite hanno restituito una faunula a mammiferi attribuita al Galeriano (parte terminale del Pleistocene inferiore - parte inferiore del Pleistocene medio) e poiché i calcari sovrastano le argille, si può ipotizzare che siano coevi o, al limite, più recenti.

Come molte formazioni di questo tipo, le argille e i calcari lacustri dell'alta Val d'Elsa sono ricchi di fossili: resti vegetali (steli e radici di piante erbacee), oogoni di carofite, valve di crostacei ostracodi e conchiglie di molluschi acquidulcicoli e terrestri. I fossili più interessanti provenienti da questi sedimenti sono rappresentati dai Parmacel-

lidi, gasteropodi terrestri di aspetto limaciforme (Fig. 1), assenti nella fauna attuale del nostro paese, particolarmente abbondanti in una scarpata nei pressi di Bulciano.

I gasteropodi con aspetto limaciforme e, apparentemente, privi di conchiglia, sono detti comunemente "lumache" (si dicono, invece, "chioccioline" i gasteropodi provvisti di conchiglia). In realtà, molti gruppi di lumache presentano ancora un residuo della conchiglia, detto "limacella", nascosto da una plica della parete del corpo e, perciò, non visibile esternamente. Le limacelle non sono tutte uguali: ad esempio quelle dei Milacidi sono conico-ovali

con apice subcentrale, mentre quelle dei Limacidi e degli Agriolimacidi sono unguiformi con apice eccentrico. Le limacelle dei Parmacellidi sono molto peculiari, in quanto costituite da due porzioni distinte, la protoconca (la conchiglietta embrionale elicata formata da un solo giro) e la spatula (una struttura unguiforme, ispessita e irregolarmente tuberculata) (Fig. 2).

I Parmacellidi viventi (Tab.1) comprendono 11 specie, assegnate a due generi distinti, *Parmacella* e *Candaharia*, comprendenti rispettivamente sette e quattro specie. *Parmacella* ha una distribuzione molto ampia, ma frammentata (Isole Canarie, Africa settentrionale, Penisola Iberica sudoccidentale, Francia meridionale e alcune aree intorno al Mar Caspio). *Candaharia* ha una distribuzione più circoscritta, limitata ad alcune aree dell'Asia cen-

trale (Iran settentrionale, Afghanistan, Tadzikistan, Kirgizstan ed Uzbekistan).

La sistematica dei gasteropodi limaciformi si basa sui caratteri anatomici (particolarmente significativi sono la struttura del corpo, l'apparato genitale, la radula e la spermatofora). Ciò è dovuto al fatto che, mentre le strutture anatomiche presentano buoni caratteri diagnostici, le limacelle, essen-

(in questo modo, la linea di sutura dei giri della protoconca cade vicino al margine destro della spatula). Distinguere le singole specie non è, invece, possibile. Infatti, anche se gruppi di specie di *Parmacella* differiscono apparentemente sulla base dell'angolo formato tra l'asse maggiore della protoconca e quello della spatula, le evidenze non sono concordi. Nel gruppo *P. festae*-*P. olivieri* e in *P. canariensis*, i due assi formerebbero un angolo acuto (ca 45°-60°); nel gruppo *P. valencienni*-*P. deshayesi*-*P. tenerifensis*, un angolo quasi retto ($\pm 90^\circ$); in *P. iberica*, un angolo ottuso ($> 90^\circ$).

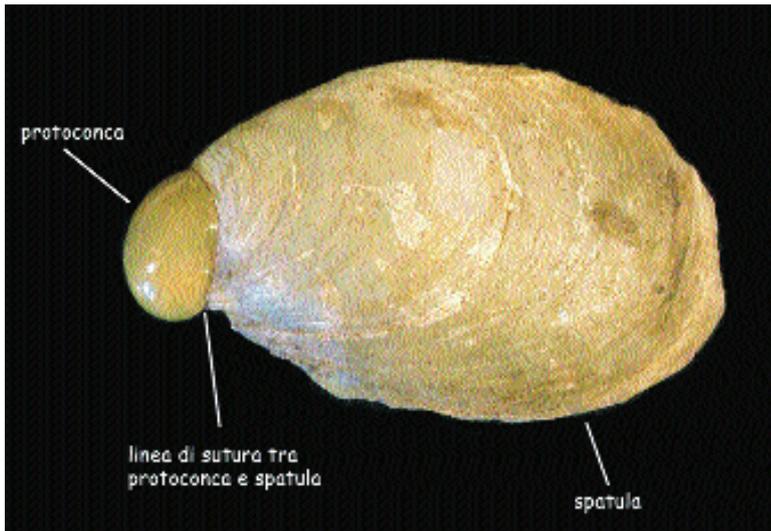


Fig. 2 - Conchiglia di *Parmacella deshayesi* raccolta sul Monte Zerhoun, presso Moulay Idriss (Marocco).

do conchiglie fortemente regredite, ne sono prive e, generalmente, non consentono l'identificazione dei singoli taxa a livello specifico e, spesso, neanche generico. Anche nel caso dei Parmacellidi, le limacelle permettono solo il riconoscimento dei generi e, forse, di alcuni gruppi di specie. Le specie di *Parmacella* sono, infatti, distinguibili da quelle di *Candaharia* sulla base delle relazioni tra la protoconca e la spatula. Nelle limacelle di *Parmacella*, il lato aperturale della protoconca è interamente (o quasi) incluso nella porzione iniziale della spatula (in questo modo la linea di sutura dei giri della protoconca cade all'incirca sull'asse longitudinale della spatula); nelle limacelle di *Candaharia*, il lato aperturale della protoconca è solo parzialmente incluso nella spatula

L'identificazione dei reperti fossili di gasteropodi limaciformi è ostacolata dal fatto di avere a disposizione solo strutture (le limacelle) che, il più delle volte, non presentano validi caratteri diagnostici. Nonostante ciò, i primi resti fossili scoperti di questi animali furono assegnati a specie diverse da quelle attuali e l'una dall'altra (praticamente: un reperto, una specie). Solo quando ci si rese conto del fatto che questo approccio era privo di fondamento scientifico, si rinunciò a classificarli a livello specifico e, talvolta, anche generico.

Le limacelle dei Calcari di Pian del Casone (Figg. 3, 4) possono essere sicuramente assegnate ad una *Parmacella*, ma non è possibile arrivare alla determinazione della specie. Infatti, l'unico carattere che potrebbe dare qualche indicazione diagnostica (angolo tra l'asse maggiore della protoconca e quello della spatula), nei parmacellidi di

<i>Parmacella (Cryptella) canariensis</i>	Isole Canarie (Isola di Lanzarote)
<i>Parmacella (Parmacella) festae</i>	Cirenaica
<i>Parmacella (Parmacella) deshayesi</i>	N-Marocco and N-Algeria
<i>Parmacella (Parmacella) iberica</i>	Caucaso e N-Iran
<i>Parmacella (Parmacella) olivieri</i>	Cirenaica e N-Egitto
<i>Parmacella (Parmacella) tenerifensis</i>	Isole Canarie (Isola di Tenerife)
<i>Parmacella (Parmacella) valencienni</i>	SW-Europa (Penisola Iberica e Francia)
<i>Candaharia (Candaharia) aethiops</i>	Kirgizstan e Tadzikistan
<i>Candaharia (Candaharia) rutellum</i>	S-Kirgizstan, Tadzikistan ed Afghanistan
<i>Candaharia (Levanderia) izzatullaevi</i>	Tadzikistan
<i>Candaharia (Levanderia) levanderi</i>	S-Kirgizstan, N-Tadzikistan, E-Uzbekistan, N-Afghanistan e NE-Iran

Tab. 1 - I Parmacellidi viventi e la loro distribuzione.



Fig. 3 - In alcune località dell'alta Val d'Elsa si rinvencono frequentemente conchiglie fossili di Parmacellidi.

Buliciano è variabile: nella maggior parte delle conchiglie l'angolo è quasi retto (accostando questi materiali al gruppo *P. valencienni*-*P. deshayesi*-*P. tenerifensis*), ma in altri esemplari presenta

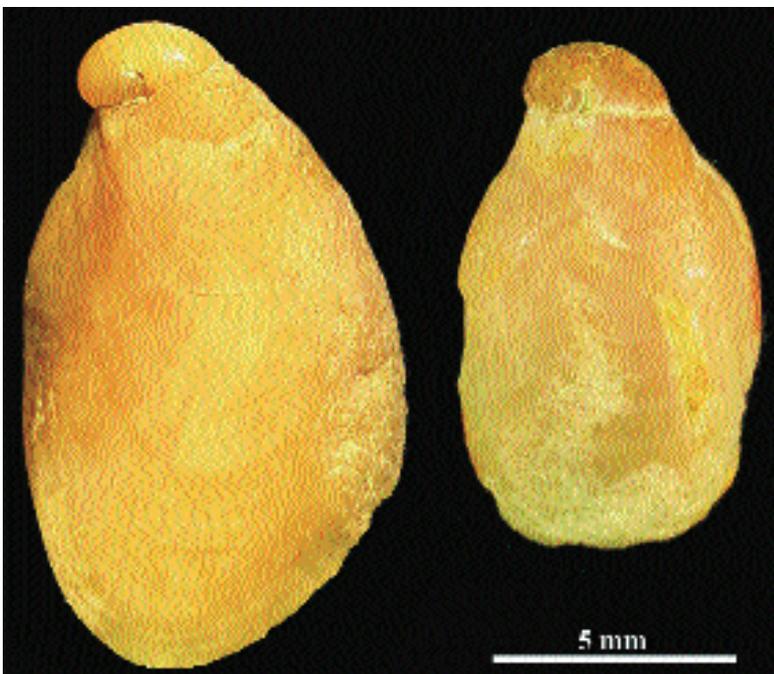


Fig. 4 - Due conchiglie dei parmacellidi raccolti nei sedimenti lacustri dell'alta Val d'Elsa.

valori prossimi sia a quelli di *P. festae*-*P. olivieri*, sia a quelli di *P. iberica*.

I Parmacellidi fossili sono molto rari e sembrano risalire a non prima del Miocene superiore. Basandosi sia sulla documentazione fossile che sulla distribuzione attuale di *Parmacella* e *Candaharia*, è stato ipotizzato (Fig. 5) che questo gruppo di gasteropodi limaciformi abbia avuto una

vasta distribuzione già nel Terziario medio-superiore. In quel tempo il loro areale probabilmente si estendeva dall'Asia centrale all'Europa centro-orientale: nella porzione occidentale si sarebbe originato il genere *Parmacella*, mentre in quella orientale si sarebbe differenziato il genere *Candaharia*. Durante il Miocene superiore, la chiusura della Paratetide prima e il disseccamento del Mediterraneo poi, avrebbero permesso loro di raggiungere l'area caucasica, l'Europa meridionale (Penisola Balcanica, Italia, Penisola Iberica), il Nord Africa e le Isole Canarie.

In Italia, i Parmacellidi sono conosciuti, oltre che nel Pleistocene medio dell'alta Val d'Elsa e della Val Tiberina, nel Miocene superiore di Brisighella (Emilia Romagna) e dell'Albese (Piemonte), dove è presente una specie di *Parmacella* con una limacella piuttosto differente sia dalle specie del Pleistocene medio, sia da quelle attualmente viventi. Poiché dal Pliocene e dal Pleistocene inferiore italiano non è noto alcun reperto, si può ipotizzare che la specie del Miocene superiore si sia estinta e che i Parmacellidi siano scomparsi dalla nostra fauna, ricomparendo nel Pleistocene medio, quando, sospinti dal glacialismo, si portarono verso latitudini meridionali, come molti altri gruppi animali a diffusione settentrionale.

Testi consultati

Bossio A., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (2000) – *Geologia dell'area compresa tra Siena, Poggibonsi e Castellina in Chianti (Prov. di Siena)*. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, 107, 69-85.

Capezzuoli E. & Sandrelli F. (2004) – *I sedimenti quaternari del settore meridionale della Valdelsa (Provincia di Siena)*. Il Quaternario, 17, 33-40.

Cavallo O. & Repetto G. (1989) – *Un nuovo*

giacimento della facies a congerie nell'Albese. Rivista Piemon-tese di Storia Naturale, 9, 43-62.

Ciangherotti A. & Esu D. (2000) – *Paleoecologic and biochronologic meaning of the Early Pleistocene molluscan fauna from the Anghiari basin (Tiber River Upper Valley, Central Italy)*. Bollettino della Società Paleontologica Italiana, 39, 217-224.

Manganelli G. & Giusti F. (1993) – *Fossil Parmacellidae from Italy*. Archiv für Molluskenkunde, 121, 143-156.

Wiktor A. & Frank C. (1997) – *Subfossil Parmacella spec. from Greek Macedonia (Gastropoda: Pulmonata: Parmacellidae)*. Malako-logische Abhandlungen, 18, 175-179.

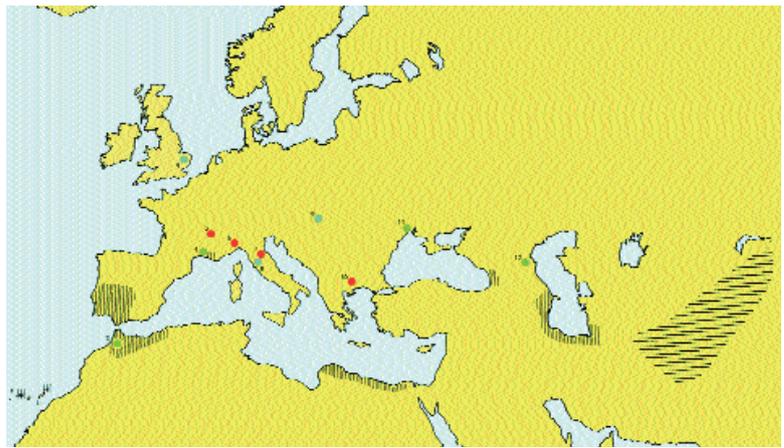


Fig. 5 - Distribuzione attuale di *Parmacella* (tratteggio verticale) e *Candaharia* (tratteggio orizzontale) e segnalazioni fossili di specie di *Parmacella* (sono stati omissi reperti segnalati come “subfossili”). In rosso: reperti del Miocene superiore; in verde: reperti attribuiti al Pliocene; in blu: reperti assegnati al Pleistocene medio-inferiore. 1, Isole Canarie; 2, bacino di Fès-Meknès (Marocco); 3, Norfolk (Gran Bretagna); 4, Montpellier (Francia); 5, Montvendre e Saint Martin-d'Aoust (Francia); 6, Albese (Piemonte); 7, Brisighella (Emilia Romagna); 8, Val Tiberina (Umbria-Toscana) e Val d'Elsa (Toscana); 9, Szabadhidvég (Ungheria); 10, Maramena (Grecia); 11, Odessa (Ucraina); 12, Grozny (Cecenia). I reperti delle Isole Canarie hanno un inquadramento stratigrafico molto incerto: alcuni si ritiene possano provenire da formazioni terziarie, altri da formazioni quaternarie.

Finestra di approfondimento I **La limacizzazione**

Si definisce “limacizzazione” il processo evolutivo che, in alcuni gruppi di Molluschi Gasteropodi, ha portato alla perdita o all'estrema riduzione della conchiglia con conseguente riarrangiamento degli organi interni e acquisizione di un aspetto più o meno simile a quello di una lumaca.

Nei mari di tutto il mondo, la maggior parte delle circa 4000 specie viventi di Opistobranchi e delle 200 specie di Polmonati Gimnomorfi mostra una forte tendenza alla riduzione della conchiglia. Solo pochi gruppi (Cefalaspidei e Notaspidei) conservano una conchiglia ben sviluppata, mentre gli altri comprendono forme che ne sono completamente prive (Gimnosomati, Nudibranchi e Onchididi, ecc.) o che presentano nicchi estremamente ridotti e molto spesso interni (Saccoglossi, Anaspidei, Terasomi, ecc.). Sulla terraferma, invece, vivono circa 2000 specie di Polmonati con la conchiglia ridotta, tanto da non poter più contenere l'intero animale (“semilumache”), e circa 500 specie con conchiglia vestigiale interna o del tutto prive di conchiglia (“lumache”).

Questi animali, apparentemente simili, non

sono, in realtà, imparentati, poiché il processo di limacizzazione si è realizzato molte volte nel corso della storia evolutiva dei gasteropodi. Pertanto, le somiglianze tra le lumache viventi sono dovute a fenomeni di convergenza evolutiva. Negli ecosistemi terrestri, le forze che hanno indotto alcuni polmonati a rinunciare ai vantaggi offerti da una robusta conchiglia (come la protezione dai predatori e dalla disidratazione) hanno agito prevalentemente in aree caratterizzate da climi umidi, da substrati poveri di carbonato di calcio e da buona copertura forestale. È evidente, infatti, come in ambienti dove il tasso di umidità è costantemente elevato venga meno il rischio di disidratazione e come la scarsa reperibilità di carbonato di calcio renda problematica la costruzione del nicchio.

I vantaggi offerti dalla perdita della conchiglia sono rappresentati da una maggiore mobilità, da una maggiore plasticità del corpo e, quindi, dalla capacità di utilizzare piccole cavità e fessure per nascondersi più facilmente alla vista (a parità di lunghezza del piede, una chiocciola può utilizzare uno spettro di ripari meno ampio rispetto ad una lumaca). In alcuni gruppi carnivori (Testacellidi e Daudebardiidi) la riduzione della conchiglia favorisce inoltre la penetrazione nel suolo, dove questi molluschi vanno a caccia di lombrichi e di altri

invertebrati.

Tra le numerose conseguenze della riduzione o della perdita della conchiglia, quella più evidente è il riarrangiamento degli organi interni: in tutti i gruppi di gasteropodi limaciformi, la massa viscerale si riduce e tende ad essere incorporata nella cavità pedale (nelle chioccioline, la massa viscerale occupa il sacco viscerale, interamente contenuto nella conchiglia): lo stomaco migra anteriormente; l'esofago si accorcia; l'intestino si sviluppa in anse strettamente addossate, il sistema di muscoli che retraggono il capo e il piede all'interno della conchiglia si riduce sensibilmente. Contemporaneamente, nelle lumache terrestri il mantello (la superficie dorsale che secerne la conchiglia) si riduce ad una linguetta carnosa, detta clipeo, che delimita superiormente la cavità polmonare.

Poiché la mancanza della conchiglia rende le lumache estremamente vulnerabili alla perdita d'acqua, esistono vari adattamenti fisiologici volti a prevenire la morte per disidratazione. A parte il fatto che molte specie sono capaci di assorbire

acqua direttamente attraverso la superficie cutanea, la soglia di tolleranza verso la perdita di liquidi corporei è generalmente maggiore rispetto alle chioccioline. Anche alcuni meccanismi comportamentali intervengono per limitare la perdita di acqua, regolando i ritmi di attività (in genere, l'attività è notturna), di riposo, la scelta delle aree frequentate e così via. Ad esempio, la capacità di contrarsi fino ad assumere una forma estremamente compatta consente a molte lumache di ridurre la superficie corporea esposta e, quindi, soggetta ad evaporazione. Infine, nei periodi più secchi, alcune specie riescono ad estivare in celle assemblate con muco e sedimenti, nel terreno o in profondi anfratti.

Per quanto riguarda le "strategie" anti-predatorie, le lumache tendono a produrre abbondante muco che, già di per sé sgradevole, contiene spesso sostanze repellenti. Alcuni gruppi praticano l'autotomia caudale (auto-amputazione della parte posteriore del corpo) in caso di aggressione. Altri comportamenti difensivi consistono nel contrarsi assumendo una forma compatta, quasi emisferica,



Fig. 6 - Alcune lumache italiane. In alto a sinistra: *Arion rufus*, una specie originaria dell'Europa atlantica, che ha colonizzato negli ultimi anni gran parte dell'Italia settentrionale. In alto a destra: *Testacella scutulum*, una semilumaca vivente nelle gallerie di animali fossori (lombrichi, artropodi e micromammiferi) e sotto pietre profondamente interrate. In basso a sinistra: *Limacus flavus*, un'entità termofila, molto diffusa anche nelle aree urbane. In basso a destra: *Limax maximus*, una delle specie più comuni, presente in una grande varietà di habitat.

o nell'eseguire rapidi movimenti oscillatori della coda o del mantello allo scopo di disorientare potenziali predatori.

Testi di approfondimento

Baker G.M. (2001) – *Gastropods on land: phylogeny, diversity and adaptive morphology*. In: "The biology of terrestrial molluscs" (Baker G.M., ed.): 1-146, CABI Publishing, Wallingford.

Solem A. (1978) – *The shell makers. Introducing mollusks*. Wiley-Interscience, New York, London, Sydney and Toronto.

Finestra di approfondimento 2 Lumache in Italia

Alla fauna italiana appartengono circa 60 specie di lumache, ascritte a quattro diverse famiglie (Arionidi, Limacidi, Agriolimacidi e Milacidi), e circa 25 specie di semilumache appartenenti a tre famiglie (Vitrinidi, Daudebardiidi e Testacellidi). Esaminando nel loro complesso questi gruppi (Fig. 6), si nota una graduale tendenza alla limacizzazione. I Vitrinidi comprendono generi con una conchiglia normale capace di racchiudere completamente l'animale (come *Vitrina*), generi con una conchiglia ridotta, coperta da ampi lobi

del mantello e non più capace di racchiudere l'intero corpo (come *Eucobresia*) e un genere con una conchiglia vestigiale interna, completamente ricoperta dal mantello (*Plutonia* delle Azzorre). Anche nei Daudebardiidi e nei Testacellidi il nicchio è molto piccolo, situato posteriormente e del tutto incapace di contenere l'animale. Nei Limacidi, negli Agriolimacidi e nei Milacidi, la conchiglia ha perso l'aspetto caratteristico e si è ridotta ad una piccola lamina unguiforme interna (limacella), contenuta in un sacco e ricoperta dal mantello. Una situazione intermedia si riscontra nei Parmacellidi, assenti in Italia ma presenti in varie zone d'Europa e del Nord Africa, in cui la limacella è composta da due porzioni distinte, di cui una elicata (la protoconca) e l'altra appiattita (spatula). Negli Arionidi, infine, con limacizzazione molto progredita, rimangono solo pochi granuli calcarei a testimoniare la presenza di una conchiglia nel passato evolutivo di questi polmonati.

Testi di approfondimento

Kerney M.P., Cameron R.A.D. & Jungbluth J.H. (1983) – *Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas*. Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Manganelli G., Bodon M., Favilli L. & Giusti F. (1995) – *Gastropoda Pulmonata. Checklist delle specie della fauna d'Italia*, 16, 1-60.

Il campo geotermico di Larderello: a volte, la luce arriva dalla Terra...

Enrico Pandeli

Università di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra
Via G. La Pira, 4 - 50121 Firenze

La fenomenologia geotermica nella regione boracifera di Larderello, legata al peculiare contesto geologico della Toscana meridionale (crosta assottigliata, marcate anomalie positive del flusso di calore, magmatismo e manifestazioni idrotermali), ha avuto fondamentale importanza per lo sviluppo sociale ed economico di questa parte delle Colline Metallifere e della Val di Cecina. Questa risorsa naturale, peculiare della Toscana meridionale e dell'alto Lazio, alimenta le centrali geo-termoelettriche che attualmente coprono circa il 2% dell'intera produzione elettrica nazionale.

Tra le particolarità geologiche della Toscana meridionale, quella dei campi geotermici è sicuramente nota in tutto il mondo. Quattro sono i campi geotermici attualmente in coltivazione nell'Italia centrale: Larderello in provincia di Pisa (Fig. 1), Travale in provincia di Siena, Monte Amiata in

ca. Da notare che in precedenza si era sviluppata in quest'area un'industria imperniata sulla produzione di acido borico dai "lagoni". Questa industria è legata all'opera del francese Francesco de Larderel (1789-1858), nominato Conte di Montecerboli dal Granduca di Toscana per le sue attività imprenditoriali e sociali. In quarant'anni il Conte riuscì a creare una mirabile organizzazione sociale ed industriale, molto evoluta per i suoi tempi, in un'area inospitale e deserta denominata, appunto in suo onore, Larderello (Burgassi *et al.*, 1995; Durand Delgà *et al.*, 2001).



Fig. 1 - Veduta panoramica di Larderello (la cosiddetta "Valle del Diavolo") in una stampa del XIX secolo.

provincia di Grosseto e Latera in provincia di Viterbo (Fig. 2). Il campo di Larderello, in particolare, ha da sempre avuto una risonanza mondiale, in quanto primo esempio di utilizzazione di fluidi naturali per la produzione di energia elettrica.

Una lettura "più geologica" dell'area di Larderello

A partire dal Miocene Medio, la crosta medio-superiore della Toscana marittima ha subito, per effetto di sistemi di faglie normali a basso ed infine ad alto angolo, una fase di rilassamento estensionale e di emersione (Fig. 2B) (Lavecchia, 1988; Carmignani & Kligfield, 1990; Bertini *et al.*, 1991; Keller *et al.*, 1994) la quale ha portato ad un suo marcato assottigliamento (con uno spessore intorno ai 20-22 km: Boccaletti *et al.*, 1985; Morelli *et al.*, 1998) (Fig. 3) nonché al formarsi di depres-

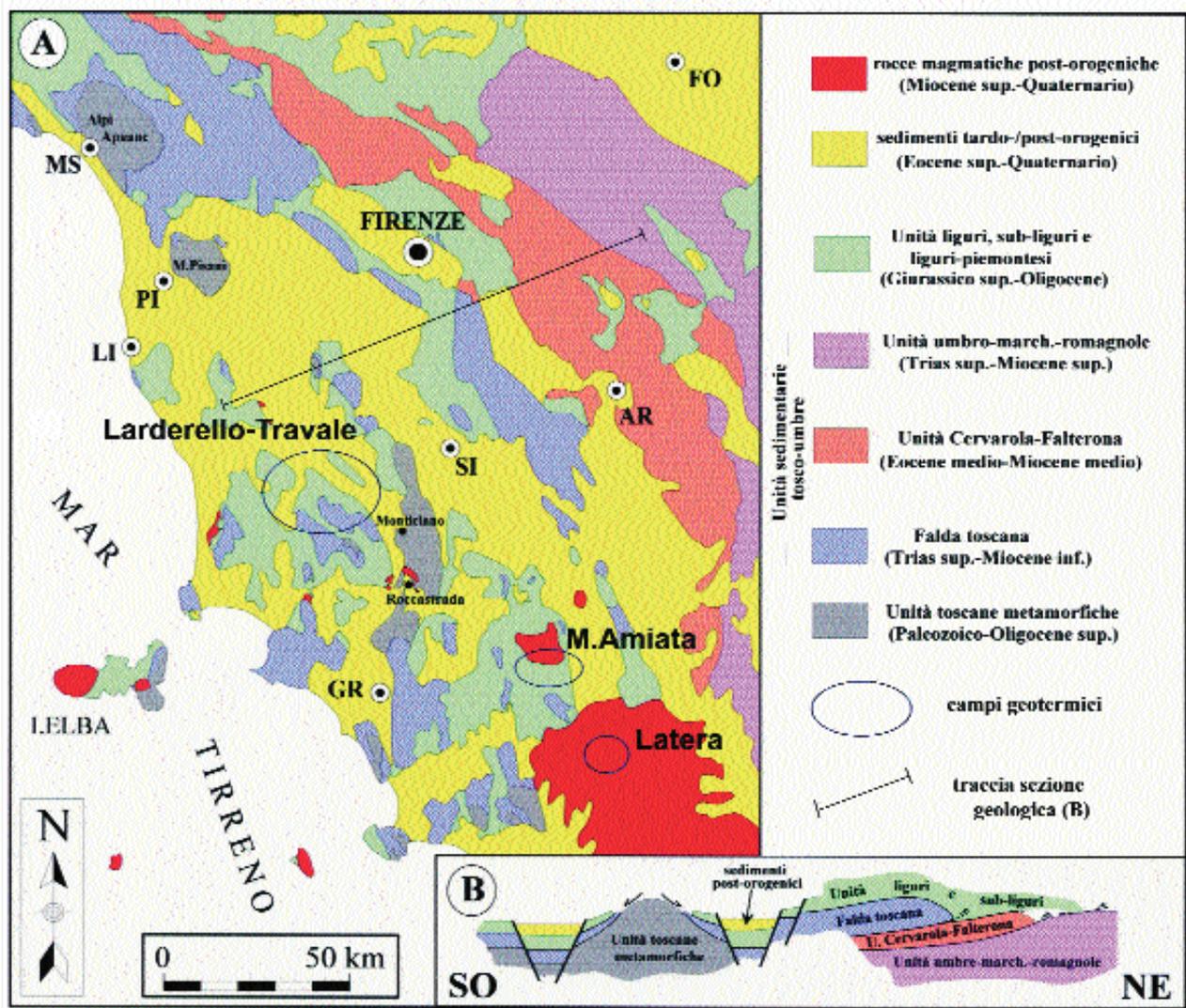


Fig. 2 – A: Carta geologica schematica dell'Appennino settentrionale. B: Sezione geologica schematica relativa al segmento indicato nella carta.

sioni tettoniche, generalmente a direzione appenninica, che daranno luogo a bacini fluvio-lacustri e marini post-orogenici (neoautoctoni) in larga parte dell'intervallo Miocene superiore (Messiniano)-Quaternario (Carmignani *et al.*, 1995; Bartole, 1995; Martini & Sagri, 1993; Bossio *et al.*, 1993). Alla conseguente risalita del Mantello superiore e della sottostante Astenosfera sono legate le marcate anomalie positive regionali del flusso di calore terrestre (Mongelli & Zito, 1991; Mongelli *et al.*, 1998) (Fig. 4) e lo sviluppo di magmi provenienti dalla fusione della crosta continentale toscana (magmi anatettici ricchi in silice, ovvero acidi) e di porzioni del sottostante mantello superiore (magmi sub-crustali poveri in silice, ovvero basici) (Serri *et al.*, 1993 *cum bibl.*). Altro aspetto da sottolineare è la tipica migrazione del fronte orogenico (oggi individuabile nella parte occidentale del Mar Adriatico) da occidentale verso oriente seguita, a tergo, da una progressiva apertura dei bacini neoautoctoni e da fenomeni di magmatismo (Elter *et al.*, 1975; Serri *et al.*, 1993).

Il contesto geologico estensionale trova il suo esempio più peculiare proprio nella Toscana marittima, dove sono stati ottenuti i massimi valori di flusso di calore (oltre 1000 milliWatt/m² a Larderello: Mongelli *et al.*, 1998) (Fig. 6b) e sono diffuse le fenomenologie magmatiche del Miocene terminale-Quaternario (es. i granitoidi dell'Isola

d' Elba, di Campiglia e quelli "sepolti" di Larderello; le vulcaniti acide di S.Vincenzo e di Roccastrada), idrotermali (es. le famose mineralizzazioni a ferro e solfuri misti del Distretto minerario di Massa Marittima e dell' Elba: Tanelli, 1983; i fluidi boraciferi di Larderello) e termominerali (vedi i numerosi stabilimenti termali).

I rilievi geologici di superficie e i numerosi sondaggi (più di 700) che hanno interessato l'area geotermica di Larderello fino a profondità di oltre 4000 m dal piano campagna, hanno permesso di ricostruire una dettagliata sezione della crosta media e superiore della Toscana marittima (Burgassi *et al.*, 1983; Elter & Pandeli, 1990, 1996; Bertini *et al.*, 1994; Pandeli *et al.*, 1991).

Dall'alto verso il basso sono distinguibili (Fig. 5):

- **successioni post-orogeniche (Neoautoctono)**. Si tratta di successioni sedimentarie che riposano in discordanza stratigrafica sulle unità toscane e liguri/sub-liguri e che sono legate all'evoluzione dei bacini post-orogenici. In particolare, esse sono rappresentate da formazioni lacustri e marino-evaporitiche del Miocene superiore (Tortoniano superiore-Messiniano), marine del Pliocene inferiore-medio e fluvio-lacustri del Pliocene superiore-Quaternario;

- **unità liguri e sub-liguri**. Sono unità di derivazione sia oceanica (Unità liguri) sia dell'area di transizione al margine continentale adriatico (Unità sub-liguri): (1)

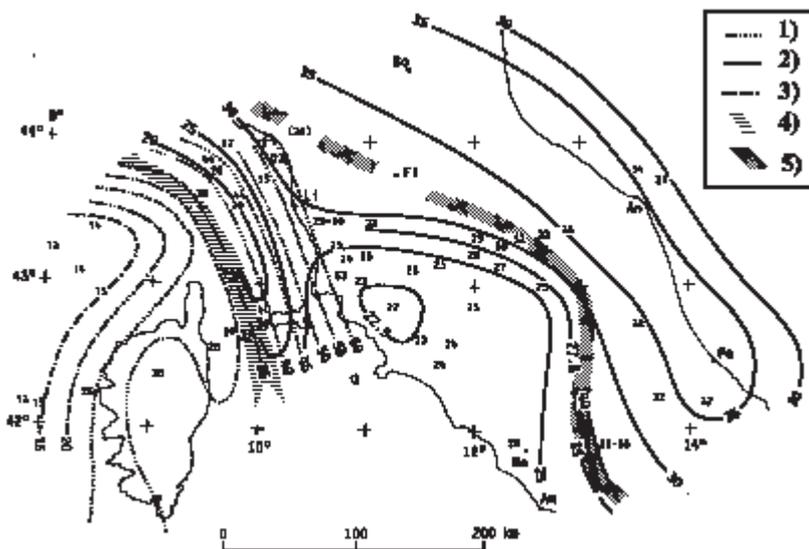


Fig. 3 - Isobate della base della crosta nell'Appennino settentrionale, nel Tirreno settentrionale e in Corsica (da Minelli *et al.*, 1991): (1) crosta europea; (2) crosta adriatica; (3) crosta oceanica; (4) limite occidentale della crosta adriatica; (5) limite tra crosta adriatica assottigliata e di avampaese.

Unità ofiolitica superiore (Giurassico superiore-Cretacico inferiore), largamente costituita da Argille a Palombini con olistoliti ofiolitici; (2) **Unità di Lanciaia** (Paleocene superiore-Eocene medio), poggiate in discordanza stratigrafica sull'Unità ofiolitica inferiore e sottoposta tettonicamente a quella ofiolitica superiore, rappresentata da breccie e arenarie ofiolitiche passanti verso l'alto ad un flysch carbonatico-silicoclastico; (3) **Unità ofiolitica inferiore** (Giurassico superiore-Cretacico inferiore), caratterizzata da una potente successione ofiolitica e da una ridotta copertura vulcanica e sedimentaria; (4) **Unità di Monteverdi Marittimo** (Cretacico superiore-Paleocene inferiore), tipico Flysch ad Elmintoidi di natura calcareo-marnoso-arenacea; (5) **Unità di Canetolo** (o Unità sub-ligure) (Paleocene-Eocene medio), rappresentata da argilliti con intercalazioni calcaree, calcarenitiche e di grovacche carbonatiche;

- **unità della Falda Toscana.** Questa unità mostra una porzione basale triassica, costituita da carbonati ed evaporiti (Anidriti di Burano), seguita da sedimenti carbonatici (Formazione di La Spezia e Calcare Massiccio) del Triassico-Giurassico basale (Hettangiano) depositatisi in ambiente di piattaforma e successivamente ricoperti da depositi pelagici calcareo-siliceo-marnosi (Calcare selcifero e Rosso Ammonitico, Marne a Posidonia, Diaspri) del Giurassico (Lias medio)-Cretacico inferiore. La parte superiore dell'unità comprende, infine, sedimenti pelagici prevalentemente pelitici (Scisti Policromi) che passano verticalmente a quelli arenaceo-torbiditici oligocenici di avanfossa (Macigno). La Falda Toscana può presentare al suo interno estese laminazioni tettoniche (Serie toscana ridotta degli Autori) e, talvolta, può mancare del tutto. Inoltre, alla base presenta una potente oriz-

zonte di cataclasi rappresentato in affioramento da breccie carbonatiche vuacuolari note come "Calcare cavernoso";

- **unità Toscane Metamorfiche:**

(1) **Unità di Monticiano-Roccastrada**, ove la parte superiore è costituita da un complesso a scaglie tettoniche con successioni anidritico-dolomitiche triassiche ed altre epimetamorfiche prevalentemente di età paleozoica e triassica (Verrucano e Formazione di Tocchi), mentre quella inferiore comprende filladi e metarenarie del Paleozoico inferiore con intercalazioni di metabasiti (Complesso filladico-quarzitico.) che passano in basso a micascisti a granato con lenti anfibolitiche (Complesso dei Micascisti) (Figg. 6a-b) di probabile età paleozoica inferiore o pre-paleozoica; (2) **Unità degli Gneiss**, di età ignota e includente paragneiss con livelli anfibolitici e ortogneiss talora occhiadini (Figg. 7a-b-c): questa unità è attr-

aversata da alcuni corpi intrusivi granitoidi con relativi corredi filoniani di età pliocenica e quaternaria (datazioni radiometriche K/Ar e ³⁹Ar/⁴⁰Ar comprese tra 3.8-1.6 Ma: Villa & Puxeddu, 1994). Il contatto tettonico tra il

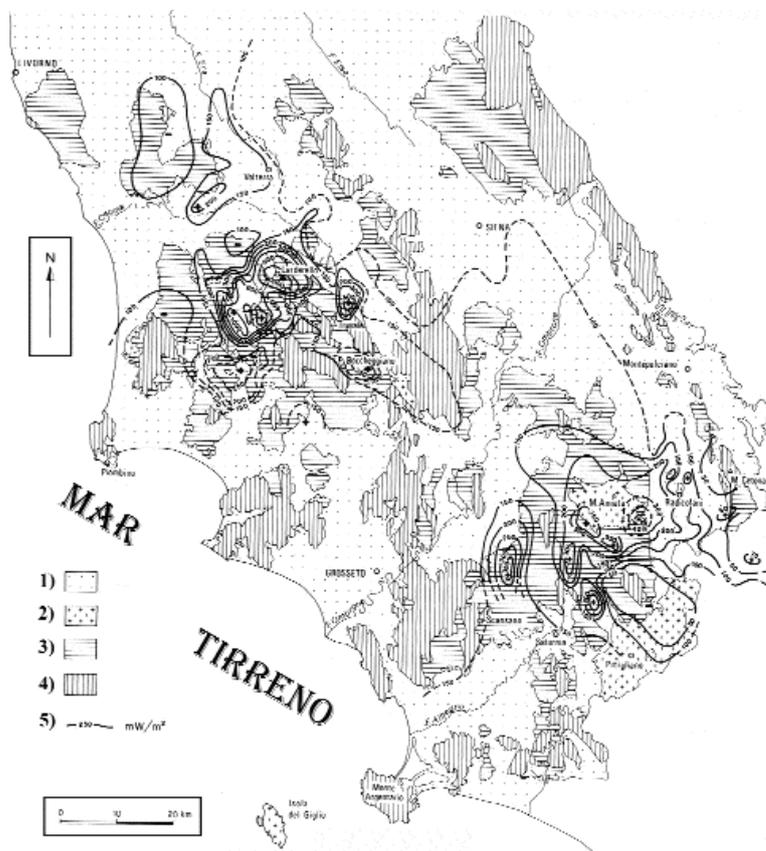


Fig. 4 - Anomalie del flusso di calore nell'Appennino settentrionale e Tirreno settentrionale (da Baldi *et al.*, 1994): (1) Sedimenti tardo- e post-orogenici (Eocene superiore-Quaternario); (2) rocce magmatiche post-orogeniche (Miocene superiore-Quaternario); (3) Unità ofiolitiche liguri ed unità sub-ligure (Giurassico superiore-Oligocene); (4) Unità toscane (Paleozoico-Miocene inferiore); (5) linee di isoflusso di calore.

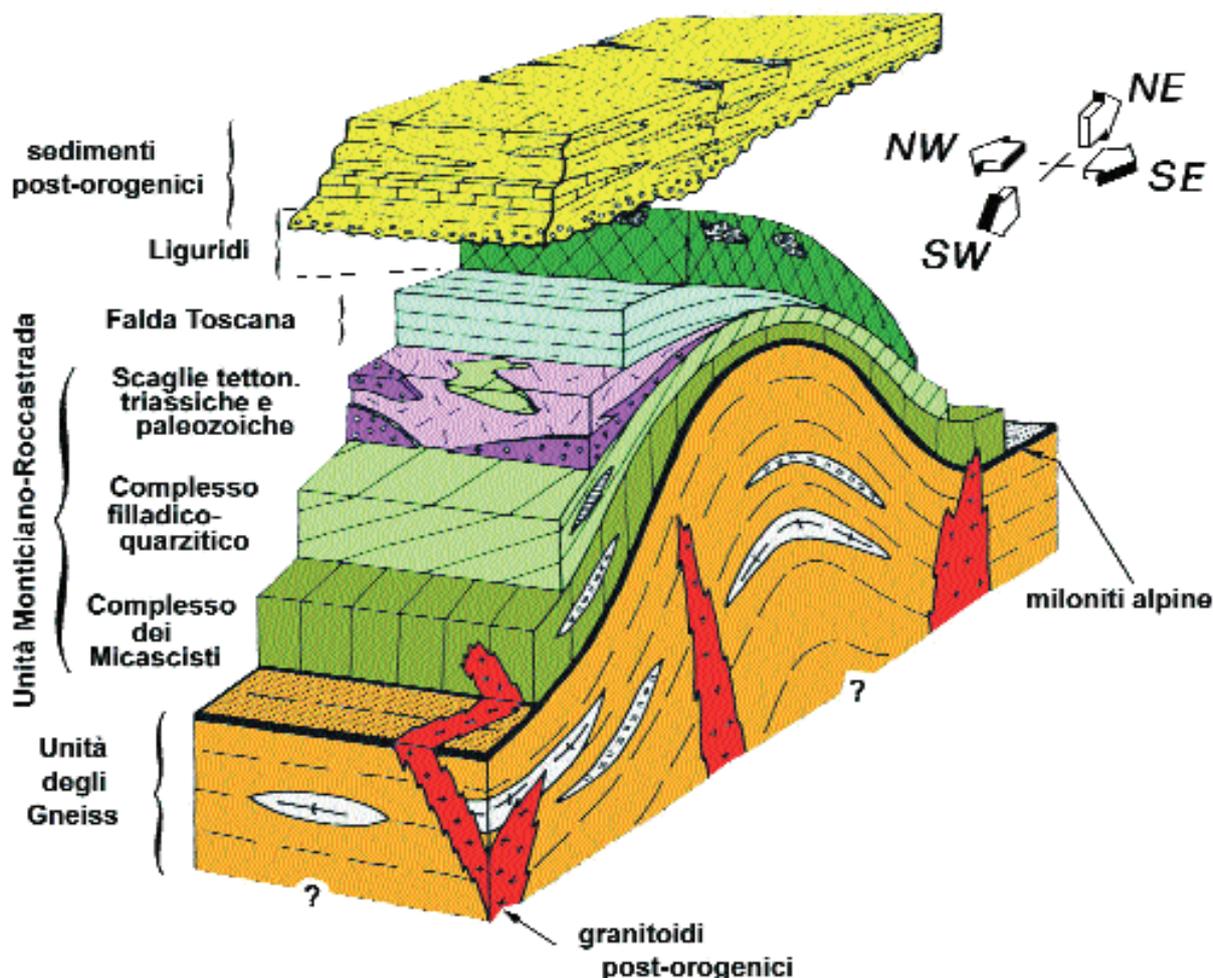


Fig. 5 - Schema stratigrafico e strutturale del campo geotermico di Larderello (da Elter & Pandeli, 1996).

Complesso dei Micascisti e l'Unità degli Gneiss è marcata da quarzo-miloniti legate all'Orogenesi Alpina. Inoltre, a differenza delle soprastanti formazioni fortemente pervase dalle deformazioni alpine, le rocce dell'Unità degli Gneiss mostrano una strutturazione ercinica ben conservata (basamento indeformato dell'avampease appenninico?).

Geotermia

Il campo geotermico di Larderello è a vapore

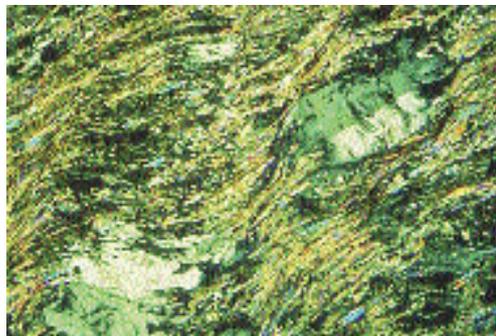
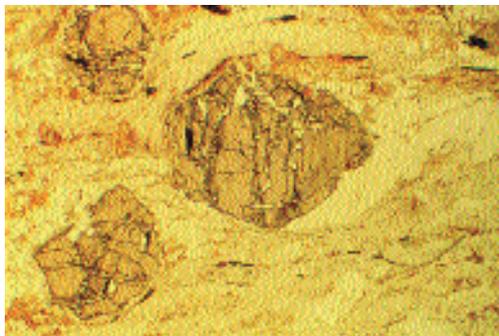


Fig. 6 - Microfotografie dei Micascisti del sottosuolo di Larderello. A sinistra: micascisto con porfiroblasto di granato, ingrandimento 10x, nicols paralleli. A destra: micascisto con porfiroblasti di albite, ingrandimento 10x, nicols incrociati.

dominante (Fig. 8), in quanto i fluidi endogeni ad alta entalpia (o calore latente specifico: ma per non dilungarci in una spiegazione adeguata di questo concetto dobbiamo necessariamente rimandare alla parte relativa alla termodinamica dei testi di fisica della scuola secondaria) sono costituiti da vapore surriscaldato e da gas (in media il 5% in peso del fluido, fino ad un massimo del 20%) con temperature all'erogazione comprese tra 150°C e 260°C e pressioni variabili tra 2 e 15 bar. Il gas è costituito da anidride carbonica (CO₂), che rappresenta generalmente il 90% in peso sul totale dei gas, e da quantità minori di acido solfidrico (H₂S), metano (CH₄), idrogeno (H₂), azoto (N₂),

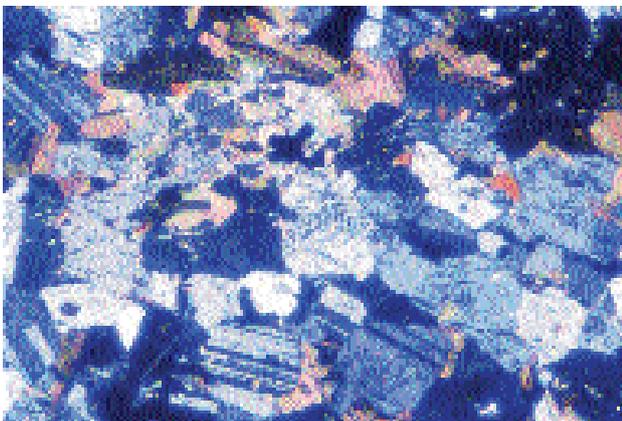
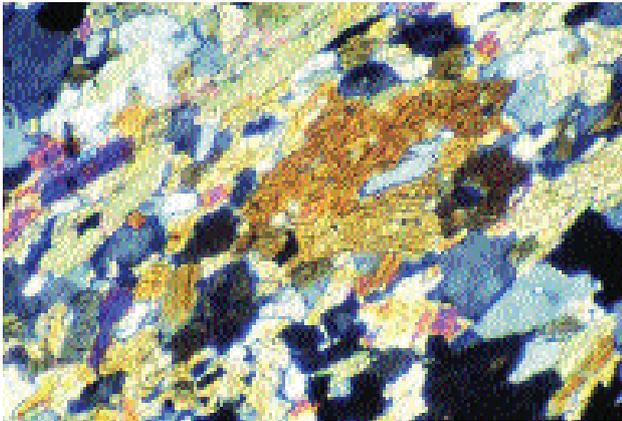
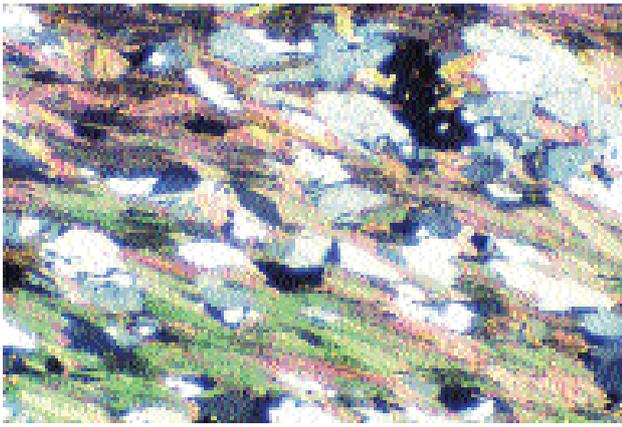


Fig. 7 - Microfotografie di litotipi dell' Unità degli Gneiss. In alto: paragneiss. Al centro: anfiboliti ad orneblenda. In basso: gneiss con quarzo, plagioclasti, biotite e sillimanite (inclusioni fibrose nei cristalli di plagioclasto e di quarzo di colore grigio) (ingrandimenti 10x, nicols incrociati).

acido borico (H_3BO_3) e ammoniaca (NH_4). La portata dei pozzi risulta mediamente di 25 tonnellate per ora (t/h) di vapore, ma può arrivare a superare le 350 t/h.

Lo schema della figura 9 evidenzia il percorso delle acque provenienti dalle precipitazioni atmosferiche, o meteoriche, dalle aree di infiltrazione superficiale (rocce-serbatoio affioranti) al serbatoio geotermico nel sottosuolo ove, riscaldandosi ed eventualmente miscelandosi a fluidi juvenili (cioè di provenienza non atmosferica ma magma-

tica) si trasformano in vapore surriscaldato (Gianelli & Calore, 1996; Minissale, 1991; Manzella *et al.*, 1998 *cum bibl.*). Il serbatoio classico è costituito dalle rocce carbonatiche toscane che hanno acquisito la permeabilità per fratturazione tettonica (faglie normali) e, subordinatamente, per dissoluzione. Esso è confinato al di sotto della copertura impermeabile, rappresentata sostanzialmente dalle Unità liguri e sub-liguri. I fluidi geotermici possono risalire in superficie lungo i sistemi di faglie normali, dando origine a manifestazioni naturali (es. "lagoni", fumarole); oppure possono essere intercettati da perforazioni.

Dagli anni '60 la ricerca geotermica si è rivolta all'individuazione di fluidi economicamente sfruttabili a profondità maggiori, fino ad oltre 4000 m dal piano campagna. Questi fluidi sono stati rinvenuti particolarmente in orizzonti fratturati all'interno delle unità Toscane Metamorfiche e persino nella parte alta delle intrusioni magmatiche granitoidi immediatamente al di sotto di esse (Fig. 9). Alla sommità del serbatoio superficiale la temperatura supera localmente i $250^\circ C$, mentre in profondità si distribuisce più uniformemente. La massima temperatura finora registrata è di $437^\circ C$, la registrazione essendo avvenuta a 3.225 m di profondità entro le rocce del basamento metamorfico nella parte meridionale del campo. In alcuni casi (es. il sondaggio S. Pompeo 2 sempre nella parte meridionale del campo) sono stati intercettati fluidi con pressione maggiore di 240 atmosfere e temperatura maggiore di $400^\circ C$, molto aggressivi sugli strumenti di perforazione. Questi fluidi sono da ritenersi di probabile origine pneumatolitica (cioè da attività gassosa o di vapore), essendo legati alle fratture delle rocce immediatamente circostanti i corpi magmatici intrusivi (plutoni) granitoidi. Un aspetto interessante da sottolineare è rappresentato dalle fratture delle rocce serbatoio, le quali sono parzialmente riempite da associazioni mineralogiche idrotermali. Queste mostrano temperature di equilibrio di poco al di sotto di quelle relative all'attuale panorama termico del campo, sia in senso verticale che areale (Bertini *et al.*, 1985). Questi dati concorrono ad una evoluzione del campo di Larderello da fluidi magmatici-pneumatolitici ad idrotermali con sempre più importanti apporti di acque meteoriche (vedi



Fig. 8 - Pozzo geotermico in erogazione.

Pandeli *et al.*, 1994 *cum bibl.*).

Utilizzazione dei fluidi geotermici

I fluidi endogeni di Larderello hanno conosciuto nel tempo vari tipi di utilizzazione che hanno sempre profondamente inciso nello sviluppo economico e sociale della Toscana (Burgassi &

Burgassi, 1981; Burgassi, 1983; Burgassi *et al.*, 1995). Le manifestazioni naturali, conosciute come “lagoni” (putizze, bulicami, pozze d’acqua e fango in ebollizione) e come “soffioni” (getti di vapore ed acqua calda), erano già utilizzate dagli Etruschi per fini artigianali (l’acido borico, ad esempio, era usato nell’invetriatura dei vasi) e dai Romani per fini terapeutici (es. le aree termali

delle *Acquae Volterranae* e *Acquae Populoniae*, indicate anche nella *Tabula Peutingeriana* del III sec. d.C.). Nel periodo medioevale vi si estrassero zolfo, vetriolo verde e allume, mentre nel Rinascimento vi ritornò in auge l’attività termale (Lorenzo dei Medici, detto Il Magnifico, ne era un assiduo frequentatore). Dal 1812 si cominciò ad estrarre dai fluidi dei “lagoni” (nei quali era stato riconosciuto fin dal 1777 da

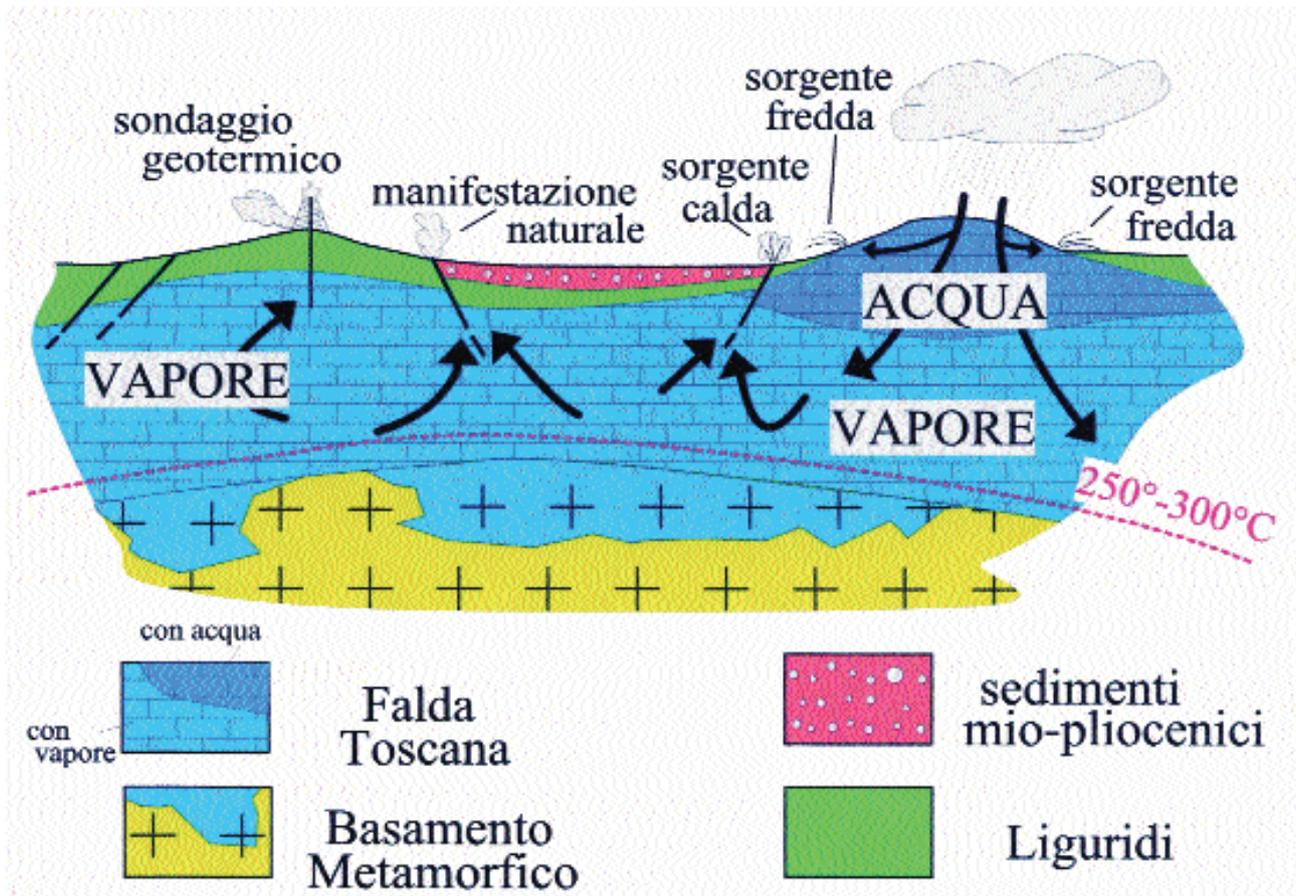


Fig. 9 - Schema della circolazione dei fluidi nel campo geotermico di Larderello.

Francesco Umberto Hoefler, direttore delle farmacie del Granducato di Toscana) l'acido borico o "sale sedativo" di Homberg, la cui regolare produzione nelle pozze d'acqua era assicurata dal continuo gorgogliare in esse dei fluidi endogeni. Nel 1818 Francesco de Larderel fu tra i fondatori di una delle prime società boracifere, della quale resterà in seguito unico proprietario. Inizialmente il processo estrattivo si basava sulla concentrazione delle soluzioni boriche dei lagoni tramite l'uso di caldaie alimentate artificialmente e successivo raffreddamento e cristallizzazione dell'acido borico in recipienti di legno. Nel 1827 de Larderel migliorò il processo di concentrazione utilizzando l'energia termica naturale dei "soffioni" e costruendo i cosiddetti "lagoni coperti". Ebbe così inizio la produzione dell'acido su scala industriale. Attorno al 1830 iniziarono anche le prime perforazioni che portarono ad incrementarne ulteriormente la produzione. Nel 1842 il figlio di Francesco de Larderel, Adriano, mise in opera le "caldaie adriane", per mezzo delle quali il processo di concentrazione delle soluzioni ad opera del calore naturale fu reso ancora più efficace. Oltre all'acido borico si producevano anche altri sali, tra i quali il solfato ammonico. Nel 1847 entrò in vigore il "Regolamento generale dell'Industria Boracifera" (Bianchi *et al.*, 1995) con il quale, oltre a dettare le regole rivolte alla produzione industriale, fu stabilita una avanzatissima organizzazione assistenziale e sociale dei lavoratori. Nel 1904, con il Principe Piero Ginori Conti da poco Presidente della Società Boracifera di Larderello, ebbe inizio per la prima volta al mondo la sperimentazione per la produzione di energia elettrica da fluidi geotermici sotto pressione. Nei decenni successivi (nel 1913 entrò in opera la prima centrale geotermoelettrica da 250 kilowatt) la produzione di elettricità rimase strettamente affiancata all'industria chimica (la quale, in ogni caso, non usava più i fluidi endogeni, bensì minerali importati da altrove, come la colemanite dalla Turchia), fino a superarla nettamente negli anni '30. L'attività geotermica, infine, ebbe una svolta decisiva negli anni '60, allorché iniziò la ricerca di fluidi in serbatoi profondi entro le successioni metamorfiche, fino ad allora ritenute del tutto impermeabili e quindi limite inferiore delle esplo-

razioni nel sottosuolo.

A tutt'oggi le centrali di Larderello hanno raggiunto una potenza installata di oltre 400 MegaWatt. Poiché la potenza complessiva delle centrali geotermoelettriche italiane ammonta a 728 MW, ne segue che quella di Larderello rappresenta approssimativamente il 2% dell'energia elettrica prodotta complessivamente in Italia, sufficiente pertanto per il fabbisogno di una città medio-grande (come ad es. Firenze) e del suo comprensorio industriale.

Gli studi geologici per la ricostruzione del sottosuolo dell'area di Larderello portano un fondamentale contributo allo sfruttamento dei campi a vapore. Essi garantiscono, inoltre, il ruolo dell'energia geotermica come fonte "rinnovabile" tra le più promettenti per la Toscana.

Da rilevare, infine, che anche i fluidi endogeni ad entalpia medio-bassa (temperatura maggiore di 150°C) ottenuti da fonti naturali o dai reflui delle centrali geotermoelettriche, trovano utilizzazione su scala locale. Infatti essi da anni sono preposti, oltre ai normali usi termali, al riscaldamento di abitazioni (es. a Larderello) o di serre (floricoltura nell'area del M. Amiata), nonché a scopi zootecnici (es. itticultura a Castelnuovo Val di Cecina).

Si ringrazia sentitamente l'ENEL-GreenPower S.p.A. (Dr. Giovanni Bertini e Dr. Pier Domenico Burgassi) per i dati forniti e per i consigli durante la stesura del lavoro.

Testi citati

Abbate E., Bortolotti V., Passerini P., Principi G. & Treves B. (1994) - *Oceanisation processes and sedimentary evolution of the Northern Apennine ophiolite suite: a discussion*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 117-136.

Bartole R. (1995) - *The North Tyrrhenian-Northern Apennines post-collisional system: constraints for a geodynamic model*. Terra Nova, 7, 7-30.

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Squarci P. & Taffi L. (1994) - *Correlazioni tra anomalie termiche ed altri elementi geofisici e strutturali della Toscana meridionale*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 1994/1, 139-149.

Batini F., Bertini G., Gianelli G. & Pandeli E.

- (1983) - *Deep structure of the Larderello field*. Mem. Soc. Geol. Ital., 25, 219-235.
- Bertini G., Cameli G.M., Costantini A., Decandia F.A., Dini I., Elter F.M., Lazzarotto A., Liotta D., Pandeli E. & Sandrelli F. (1994) - *Structural features of southern Tuscany along the Monti di Campiglia-Rapolano Terme cross-section*. Mem Soc. Geol. It., 48, 51-59.
- Bertini G., Gianelli G., Pandeli E. & Puxeddu M. (1985) - *Distribution of hydrothermal minerals in the Larderello-Travale and Mt. Amiata geothermal fields (Italy)*. In: Transactions of the 1985 International Symposium on Geothermal Energy held in Kailua-Kona (Hawaii), 26-30 August 1985. Geothermal Resources Council, Davis (USA), Vol. 9, Part I, 261-266.
- Bianchi M.C., Burgassi A. & Burgassi P.D. (1995) - *Francesco De Larderel: a critical analysis of a manager by the "Regolamento Generale dello Stabilimento dell'Acido Boracico"*. In: "Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence (Italy)", 18-31 May 1995, Vol. I, 441-443.
- Boccaletti M., Capitani S., Coli M., Fornace G., Gosso G., Grandini G., Milano P.F., Moratti G., Nafissi P. & Sani F. (1983) - *Caratteristiche deformative delle Alpi Apuane settentrionali*. Mem. Soc. Geol. It., 26, 527-534.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G. & Postpischl D. (1985) - *Considerations on the seismo-tectonics of the Northern Apennines*. Tectonophysics, 117, 7-38.
- Boccaletti M., Coli M., Decandia F.A., Giannini, E. & Lazzarotto, A. (1980) - *Evoluzione dell'Appennino Settentrionale secondo un nuovo modello strutturale*. Mem. Soc. Geol. It. 21, 359-373.
- Burgassi P.D. (1983) - *Energia geotermica nelle Colline Metallifere*. Mem. Soc. Geol. It., 25, 135-140.
- Burgassi P.D., Cataldi R. & Donati C. (1995) - *Scientific investigations and technological development in the Larderello region from XVI through XIX Centuries*. In. "Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence (Italy)", 18-31 May 1995, Vol. I, 433-440.
- Burgassi P.D., Decandia F.A. & Lazzarotto A. (1983) - *Elementi di stratigrafia e paleogeografia nelle Colline Metallifere (Toscana) dal Trias al Quaternario*. Mem. Soc. Geol. It., 25, 27-50.
- Burgassi R. & Burgassi P.D. (1981) - *I soffioni boraciferi della Toscana e le originali industrie a cui hanno dato luogo*. L'Industria Mineraria, 2, 13-23.
- Carmignani L. & Kligfield R. (1990) - *Crustal extension in the northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex*. Tectonics, 9, 1275-1303.
- Carmignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D. & Oggiano G. (1995) - *Relationships between the Tertiary structural evolution of the Sardinia-Corsica-Provençal Domain and the Northern Apennines*. Terra Nova, 7, 128-137.
- Dogliani C., Mongelli F. & Piali P. (1998) - *Boudinage of the Alpine Belt in the Apenninic back-arc*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 457-468.
- Durand-Delga M., Pandeli E. & Bertini G. (2001) - *Le champ géothermique de Larderello (Toscane, Italie): situation géologique, utilisations industrielles, rôle de la famille de Larderel*. Géologie Alpine, 77, 9-21.
- Elter F.M. & Pandeli E. (1990) - *Alpine and Hercynian Orogenic phases in the Basement rocks of the Northern Apennines (Larderello Geothermal field, Southern Tuscany, Italy)*. Eclogae Geologicae Elvetiae, 83/2, 241-264.
- Elter F.M. & Pandeli E. (1993) - *Alpine tectono-metamorphic framework of the Tuscan Paleozoic (Southern Tuscany, Italy)*. Annales Tectonicae, 7, 71-84.
- Elter F.M. & Pandeli E. (1996) - *Structural setting of the Paleozoic crystalline basement of the Northern Apennines (Italy)*. In: "Basement Tectonics 11-Europe and other regions", Proceedings of the Eleventh International Conference on Basement Tectonics held in Potsdam, Germany, July 1994 (Oncken O. & Janssen C., eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 79-90.
- Elter P., Giglia G., Tongiorgi M. & Trevisan L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Northern Apennines*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 42, 3-18.

- Fazzuoli M., Pandeli E. & Sani F. (1994) - *Considerations on the sedimentary and structural evolution of the Tuscan Domain since Early Liassic to Tortonian*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 31-50.
- Gianelli G. & Calore C. (1996) - *Models for the origin of carbon dioxide in the Larderello geothermal field*. Boll. Soc. Geol. It., 115, 75-84.
- Giannini E. & Lazzarotto A. (1975) - *Tectonic evolution of the Northern Apennines*. In: Geology of Italy. P.E.S.L., Libia, pp. 237-287.
- Jolivet L., Faccena C., Goffé B., Mattei M., Rossetti F., Brunet F., Storti F., Funicello R., Cadet J.P., D'Agostino N. & Parra T. (1998) - *Midcrustal shear zones in postorogenic extension: Example from the Northern Tyrrhenian Sea*. Jour. Geophysical Research, 103, 123-160.
- Keller J.V.A., Minelli G. & Piali G. (1994) - *Anatomy of late orogenic extension: the Northern Apennines case*. Tectonophysics, 238, 275-294.
- La Vecchia G. (1988) - *The Tyrrhenian-Apennines system: structural setting and seismotectogenesis*. Tectonophysics, 147, 263-296.
- Manzella A., Ruggieri G., Gianelli G. & Puxeddu M. (1998) - *Plutonic-geothermal system of southern Tuscany: a review of the crustal models*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 283-294.
- Martini I.P. & Sagri M. (1993) - *Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy*. Earth-Science Reviews, 34, 197-233.
- Minelli G., Piali G. & Scarascia S. (1991) - *Revisione dei profili crostali nell' area dell' Apennino settentrionale interessata dal profilo CROP 03*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 1991/1, 55-64.
- Minissale A. (1991) - *The Larderello geothermal field: a review*. Earth-Sciences Reviews, 31, 133-151.
- Mongelli F. & Zito G. (1991) - *Flusso di calore nella regione toscana*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. CROP 03, 1991/1, 91-98.
- Mongelli F., Palumbo F., Puxeddu M., Villa I.M. & Zito G. (1998) - *Interpretation of the geothermal anomaly of Larderello. Italy*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 305-318.
- Morelli C. (1998) - *Lithospheric structure and geodynamics of the Italian peninsula derived from geophysical data: a review*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 113-122.
- Pandeli E., Bertini G. & Castellucci P. (1991) - *The Tectonic Wedges Complex of the Larderello area (Southern Tuscany - Italy)*. Boll. Soc. Geol. Ital., 110, 621-629.
- Pandeli E., Gianelli G., Puxeddu M. & Elter F.M. (1994) - *The Paleozoic basement of the Northern Apennines: stratigraphy, tectono-metamorphic evolution and Alpine hydrothermal processes*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 627-654.
- Principi G. & Treves B. (1984) - *Il sistema Corso-Appenninico come prisma di accrezione. Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. Mem. Soc. Geol. It., 28, 549-576.
- Serri G., Innocenti F. & Manetti P. (1993) - *Geochemical and petrological evidence of the subduction of delaminated Adriatic continental lithosphere in the genesis of the Neogene-Quaternary magmatism of central Italy*. Tectonophysics, 223, 117-147.
- Sestini, G. Ed. (1970) - *Development of the Northern Apennines geosyncline*. Sedim. Geol. 4, 205-649.
- Tanelli G. (1983) - *Mineralizzazioni metallifere e minerogenesi della Toscana*. Mem. Soc. Geol. It., 25, 91-109.
- Villa I. & Puxeddu M. (1994) - *Geochronology of the Larderello geothermal field: new data and the "closure temperature" issue*. Contrib. Mineral. Petrol., 315, 415-426.

Introduzione alla conoscenza dei mammiferi del Plio-Pleistocene italiano. I: Problematiche tassonomiche e inquadramento biostratigrafico

Roberto Fondi

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra
Via Laterina, 8 – 53100 Siena

La maggior parte dei resti fossili di mammiferi conservati nei tre principali musei paleontologici toscani (di Geologia e Paleontologia a Firenze, dell'Accademia Valdarnese del Poggio a Montevarchi e dell'Accademia dei Fisiocritici a Siena) appartiene a specie del Pliocene e del Pleistocene, cioè vissute approssimativamente fra i 5 milioni e i 10.000 anni or sono. Il lettore che voglia approfondire la conoscenza di tali specie, comunque, non troverà nelle librerie testi di carattere divulgativo dedicati all'argomento e sarà perciò obbligato a rivolgersi alla letteratura specialistica che si trova archiviata nelle biblioteche universitarie, perdendosi così in un ginepraio di difficili terminologie e in un'autentica babele di nomi latini. In questo articolo introduttivo sono esposte le principali problematiche di fondo dell'argomento e fornite alcu-

Importanza dei depositi includenti resti di mammiferi

Senza considerare l'interesse puramente biologico legato al rinvenimento di resti appartenuti a specie oggi non più esistenti, lo studio delle associazioni fossili a mammiferi (Fig.1) può fornire preziose informazioni circa sia la loro antichità, sia gli ambienti e i climi legati agli ecosistemi da cui tali associazioni hanno avuto origine.

Poiché giacimenti a mammiferi di diversa composizione hanno significato differente, per la determinazione della loro età relativa sarà necessario basarsi su uno studio sistematico il più accurato possibile del materiale paleontologico costituente i giacimenti medesimi. La considerazione delle specie maggiormente significative permetterà di determinare in modo approssimativo la posizione dell'associazione fossile nella successione cronostatigrafica standard proposta e continuamente aggiornata dalle moderne scienze geologiche, mentre il grado di adattamento all'ambiente

implicito a particolari morfotipi di tali specie potrà indicare tratti di tempo ancora più limitati in quanto corrispondenti ai momenti di diffusione di quei morfotipi, consentendo così determinazioni cronologiche ancora più accurate.

La composizione di una fauna fossile a mammiferi potrà inoltre fornire informazioni di natura paleoclimatica, e quindi suscettibili di essere inquadrate nella complessa successione di episodi freddi e temperati che interessarono particolarmente il Pliocene e il Pleistocene; anche se risulterà problematico utilizzare quelle informazioni per il riconoscimento delle fluttuazioni climatiche più lievi, in quanto i mammiferi (fatta eccezione per gli ordini di piccola taglia come i Roditori, i Chiroteri e gli Insettivori) mostrano di essere generalmente poco sensibili a tali modificazioni. Nel medesimo contesto, anzi, il ricercatore dovrà fare molta attenzione a non escludere possibili adattamenti anche di interi gruppi di specie ad ambienti per esse generalmente insoliti, come mostra l'esempio del giacimento medio-pleisto-



Fig. 1 - Un esempio di giacimento a mammiferi: quello del Galeriano medio (Pleistocene medio iniziale) di Isernia La Pineta nel Molise. Al centro della foto è riconoscibile una mandibola di rinoceronte (da Peretto *et al.*).

nico della Caune de l'Arago nei Pirenei orientali. Questo giacimento, infatti, include resti di specie sia "artiche" come il Bue muschiato (*Ovibos moschatus*) e la Volpe polare (*Alopex lagopus*), sia "temperate" come il Leone (*Panthera leo*) e il Giaguaro europeo (*Panthera gombaszoegensis*): compresenza che può essere spiegata unicamente come risultato dell'adattamento di entrambi i gruppi di specie a quel medesimo e particolare habitat.

Ogni informazione di natura paleoclimatica ricavata da associazioni fossili a mammiferi dovrà pertanto essere valutata in un contesto pluridisciplinare, tenendo in considerazione soprattutto le informazioni fornite dai resti di mammiferi di piccole dimensioni (essenzialmente i Roditori e gli Insettivori), nonché da quelli di natura vegetale, con in primissimo piano i granuli di polline.

I mammiferi, infine, per il fatto di possedere – come ogni altra classe di organismi – caratteristiche anatomiche direttamente correlate ai loro specifici habitat, potranno svolgere il ruolo di efficaci indicatori di questi ultimi. Negli erbivori, ad esempio, la morfologia dei denti è strettamente correlata al tipo di dieta vegetale: per cui una dentatura

con elementi a corona alta (ipso-donte) come quella del pleistocenico Rinoceronte lanoso (*Coelodonta antiquitatis*) non potrà se non riflettere un regime alimentare a base erbacea, e perciò legato a un paesaggio aperto e arido tipo steppa o tundra; mentre una dentatura con elementi a corona bassa (brachiodonte) come quella del pliocenico Tapiro europeo (*Tapirus arvernensis*) non potrà che denotare un regime alimentare più tenero a base di foglie e di germogli, perciò relativo ad un paesaggio forestale caldo-umido. In ogni caso, poiché steppe e foreste possono svilupparsi anche in climi contrastanti a seconda della latitudine, sarà sempre prudente evitare di correlare in maniera troppo rigida l'ambiente vegetale con il clima, non scartando mai la possibilità che l'abbondanza di una parti-

colare specie in un determinato giacimento sia stata determinata da fattori del tutto locali o, nel caso di un sito frequentato da esseri umani preistorici, da un'intensa attività di caccia da parte di questi ultimi.

In ogni tentativo di ricostruzione paleoecologica, insomma, l'utilizzo delle faune fossili a mammiferi non potrà in alcun modo essere dissociato da quello di ogni altro dato disponibile, di natura sia paleozoologica che paleobotanica.

Un approccio olistico al problema della definizione dei gruppi biologici naturali

Il problema di come definire e classificare oggettivamente i gruppi biologici naturali può dirsi antico quanto l'uomo.

Prima dell'avvento dell'evoluzionismo, la realtà era considerata come una totalità coerente permeata della presenza ed intelligenza divina, e perciò come viva, palpitante, creativa e dotata di risvolti spesso imprevedibili e misteriosi. Essa, in ogni caso, si dispiegava in una straordinaria gerarchia di complessità, ove alla base figuravano i

minerali e le forme inferiori di vita, nei livelli intermedi i vegetali, gli animali e l'uomo, e nei livelli superiori entità super-naturali come le schiere angeliche. In questa gerarchia l'uomo occupava una posizione centrale, intermediaria fra la condizione fisico-naturale e quella metafisico-supernaturale.

Reputando le forme viventi attuali come le stesse concepite dalla mente divina e fissate nel sesto giorno della creazione, il naturalista svedese Carl von Linné (1707-1778), più noto come Linneo, ne propose una sistemazione ordinata secondo categorie o *taxa* (*taxon* al singolare) di ampiezza e diversificazione decrescenti, individuate in base a scelte oculate di particolari insiemi di caratteri morfologici. Linneo denominò "specie" i *taxa* elementari di tale sistemazione, definendoli con nomenclatura latina binomia (ad es.: *Homo sapiens*, *Pecten jacoboeus*, *Apis mellifica*), mentre i *taxa* superiori a quelli specifici vennero scaglionati dallo scienziato svedese e da biologi a lui successivi in 6 livelli gerarchici fondamentali, progressivamente denominati "generi" (*Homo*, *Pecten*, *Apis*), "famiglie" (*Hominidae*, *Pectinidae*, *Apidae*), "ordini" (*Primates*, *Autobranchia*, *Hymenoptera*), "classi" (*Mammalia*, *Bivalvia*, *Insecta*), "tipi" o *phyla* (*phylum* al singolare) (*Chordata*, *Mollusca*, *Artropoda*) e "regni" (*Animalia*).

Sebbene gettasse vivida luce sulla varietà delle forme viventi e sulle loro reciproche relazioni di somiglianza-differenza, pure l'uso delle rigorose definizioni linneane, malgrado venisse reputato necessario per un'analisi scientificamente accurata, portò ad una totale cristallizzazione dell'idea di "ordine naturale" e ad uno stretto connubio tra la biologia e il dogma ecclesiastico della creazione "speciale" ("*Tot species sunt, quot formas ab initio infinitum Ens creavit*"), dando così luogo a quello che, dopo l'avvento dell'evoluzionismo, è stato definito "fissismo". Linneo, comunque, rimase sempre lucidamente consapevole del-

l'artificiosa rigidità del suo *Systema Naturae* e con il passare degli anni comprese che spesso era difficile distinguere non soltanto le specie ma, più in generale, le categorie sistematiche inferiori agli ordini. A tali livelli, insomma, il mondo dei viventi risultava instabile e mutevole, prestandosi anche a manipolazioni artificiali da parte di coltivatori e di allevatori.

Ancora oggi, a distanza di oltre due secoli e mezzo dall'opera di Linneo, il problema del riconoscimento oggettivo dei *taxa* biologici naturali, pur avendo dato corpo ad una sterminata letteratura scientifica, appare lungi dall'essere stato risolto (Berlocher, 1998). In generale, la letteratura di cui si tratta tende a considerare la specie, ovvero l'unità biosistemica fondamentale, come un'entità oggettiva e dotata di sicura base ontologica; mentre i *taxa* sopraspecifici (generi, famiglie, ordini, ecc.) avrebbero natura per lo più soggettiva e convenzionale. Quanto ai criteri adottati per distinguere le specie, si è passati da un iniziale approccio strettamente *morfo-tipologico*, mirante cioè a definire unità morfologiche standard – e di conseguenza attribuente importanza secondaria alla variabilità (o grado di divergenza media da tali unità) che pure è inerente, in misura più o meno elevata, a ciascuna popolazione naturale –, si è passati ad un approccio basato generalmente sul criterio fisiologico dell'*isolamento riproduttivo*, ritenuto oggettivo per eccellenza. Dalla metà del

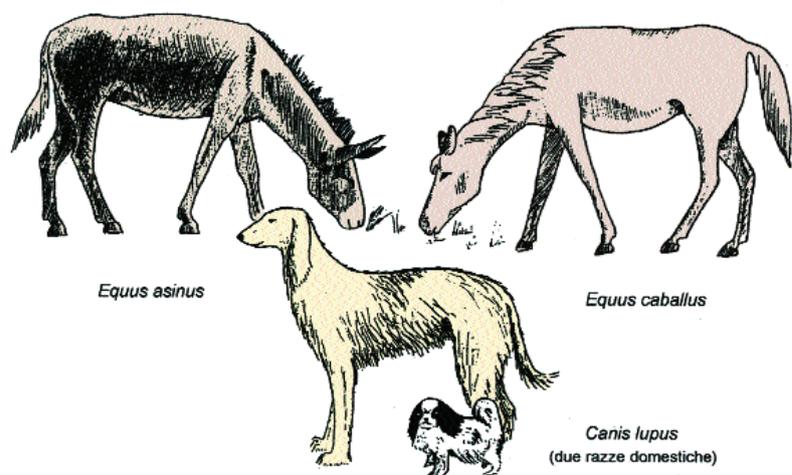


Fig. 2 - Secondo il concetto cosiddetto "biologico" di specie, l'unità biosistemica fondamentale non è definibile sulla base del dato morfologico, ma soltanto su quella dell'isolamento riproduttivo. Le somiglianze esteriori fra l'Asino (*Equus asinus*) e il Cavallo (*Equus caballus*), ad esempio, possono risultare più spiccate di quanto non siano fra loro quelle di numerose razze canine; tuttavia, a differenza di queste ultime, l'asino e il cavallo non sono in condizione di generare ibridi fertili (da Schilthuizen).

secolo scorso ad oggi, in altre parole, è stato per lo più considerato come “specie vera”, cioè naturale e non convenzionale, qualsiasi insieme di organismi tra loro interfecondi ma riproduttivamente isolato da altri insiemi analoghi, del tutto indipendentemente da eventuali corrispondenze sul piano morfologico esteriore (Fig. 2).

Con chiaro intento monopolizzatore, il concetto di specie basato sull'isolamento riproduttivo è stato denominato “concetto biologico di specie”. Eppure esso non si è dimostrato applicabile né alla generalità degli organismi viventi, né al solo regno animale. Di fronte a questa difficoltà, vari autori hanno proposto di considerare come specie unicamente gli insiemi di popolazioni riprodotte per via sessuata o bi-parentale; però una tale soluzione restrittiva ed arbitraria non può reggere alla critica, in quanto è impossibile negare che organismi monocellulari asessuati come i Protisti (*Amoeba proteus*, *Euglena viridis*, ecc.) – per non parlare degli organismi ad organizzazione cellulare di tipo batterico (caratterizzata cioè da piccole dimensioni e da assenza sia di nucleo che di organelli citoplasmatici) – formino unità naturali indipendenti. D'altra parte, sono conosciuti non soltanto vari animali che si riproducono per via unisessuata o uniparentale (femminile), cioè per partenogenesi, ma anche non pochi esempi di “specie” (ad esempio tra i Fasmidi o “insetti-stecco” e tra alcuni Rettili) nell'ambito delle quali alcune popolazioni si riproducono regolarmente per via sessuata, mentre altre sono permanentemente partenogenetiche o partenogenetiche cicliche e altre ancora, pur riproducendosi per partenogenesi, devono avere le uova attivate dagli spermidi di altre e ben precise “specie”. E non basta. Perché esistono gruppi naturali caratterizzati da interfecondità e da variazioni morfologiche “clinali” (cioè gradualmente sfumate da

un territorio all'altro dei loro areali geografici di distribuzione), però con le popolazioni estreme dei “clini” sterili fra loro. Vi sono, anzi, casi di distribuzioni circumpolari (o perimetriche a regioni comunque inabitabili) nelle quali il “cline” forma come un anello in cui le due forme estreme sovrappongono i loro areali coabitandovi ma senza ibridarsi. E non basta ancora. Perché sono egualmente conosciuti casi di “specie” formatesi per introgressione da ibridazione le quali, pur essendo nella maggioranza dei casi assolutamente eccezionali, sono però relativamente comuni sia tra gli Anfibi (Fig. 3) che in alcuni gruppi di Pesci ossei e di Uccelli.

Non si comprende, poi, perché si debba fare a meno, soltanto per non mortificare il “concetto biologico di specie”, di considerare come altrettante specie “singole” le innumerevoli simbiosi obbligatorie (che spesso prevedono anche la trasmissione di generazione in generazione dei simbiotici) esistenti in natura: tanto che gli specialisti in Licheni, ovvero simbiosi obbligatorie di funghi e di alghe, non esitano in alcun modo ad utilizzare una tassonomia *ad hoc*.

Infine, *last but not least*, non si può non tener

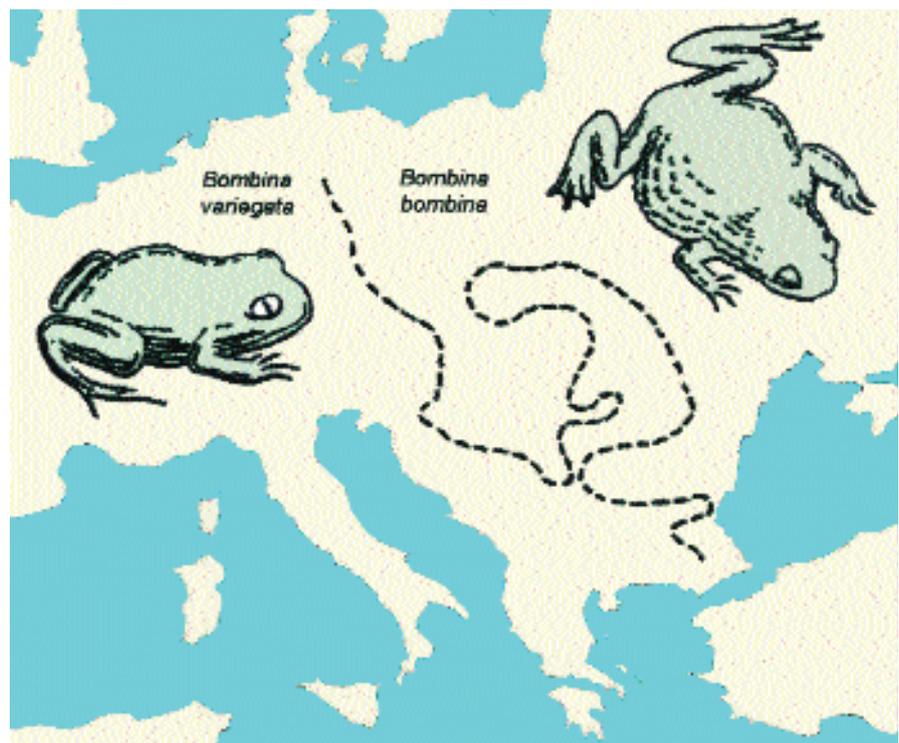


Fig. 3 - In Europa due specie di rospo, l'Ululone dal ventre giallo (*Bombina variegata*) e l'Ululone dal ventre rosso (*B. orientalis*), pur distinguendosi nella morfologia e nel comportamento, si incrociano e generano ibridi fertili unicamente in corrispondenza della linea tratteggiata nella figura, lunga circa 5.000 km e larga meno di 10 km (da Schilthuizen, legg. modificato).

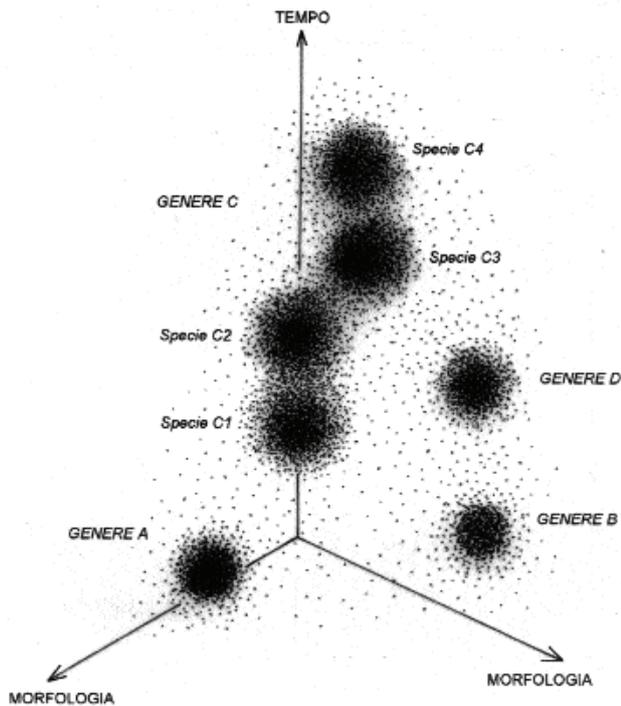


Fig. 4 - In quanto entità spazio-temporali collettive, i taxa biologici devono essere concepiti in senso statistico-probabilistico, ovvero come altrettante “nuvole di punti” più o meno transvarianti fra loro nel contesto unitario del sistema di cui sono parte integrante; per cui le distinzioni tra di essi sono sempre relative e mai assolute. Nell’esempio della figura è rappresentata una famiglia composta da quattro generi (A-D) succedutisi nel tempo, con C composto da quattro specie e, nella prima fase della sua esistenza, contemporaneo a D.

conto del fatto che la stragrande maggioranza delle specie zoologiche finora istituite è conosciuta unicamente attraverso esemplari conservati in musei, cioè in condizioni di non rivelarci assolutamente nulla delle loro caratteristiche riproduttive.

Il dover constatare che il concetto “biologico” di specie è di limitata validità e applicabilità – tanto che a tutt’oggi si è arrivati a proporre fino ad almeno sette differenti concetti di specie (si consulti, ad es., Harrison, 1998) – induce a reputare illusorio qualsiasi tentativo di giungere a definizioni univoche ed universali, non soltanto delle unità tassonomiche linneane di rango superspecifico, ma anche di quella specifica o fondamentale. Ne consegue che non esiste affatto un “problema della specie”, bensì esiste un “problema del taxon” o delle unità biosistematiche naturali in senso generale; per cui la questione di come distinguere in

modo oggettivo i complessi biologici naturali continua oggi a rimanere aperta come lo era al tempo di Linneo.

Ovviamente, questa conclusione non deve in alcun modo indurre a pensare che l’insieme dei viventi sia un *quid* confuso e privo di distinzioni. In natura le distinzioni, malgrado siano apprezzabili in misura differente e più o meno netta, sono innegabili e compaiono in numero straordinario a qualsiasi livello di complessità; ma siccome interessano entità collettive e non individuali, devono essere concepite in senso *statistico* e non assoluto. Ne consegue che i taxa biologici devono essere visti come realtà “transvarianti” fra loro in differente misura nel contesto unitario dell’immenso continuo spazio-temporale di cui formano parte naturale integrante e inscindibile (Fig. 4).

Postulata l’esistenza di un Sistema Biologico Naturale coerentemente unitario nella sua estrinsecazione spazio-temporale e nella sua dinamica evolutiva, il problema di stabilire con criterio scientifico il rango di gruppi e di complessi all’interno di esso finisce dunque per convertirsi automaticamente in quello strettamente “pratico” della valutazione della variabilità relativa intragruppo-intergruppo e del conseguente grado di transvariazione media risultante fra gli insiemi di caratteri corrispondenti (omologhi) inerenti ai gruppi dei complessi studiati (Fig. 5).

Alla luce di questa interpretazione olistica del mondo vivente, ci sembra che il criterio principe per l’individuazione dei taxa biologici naturali non

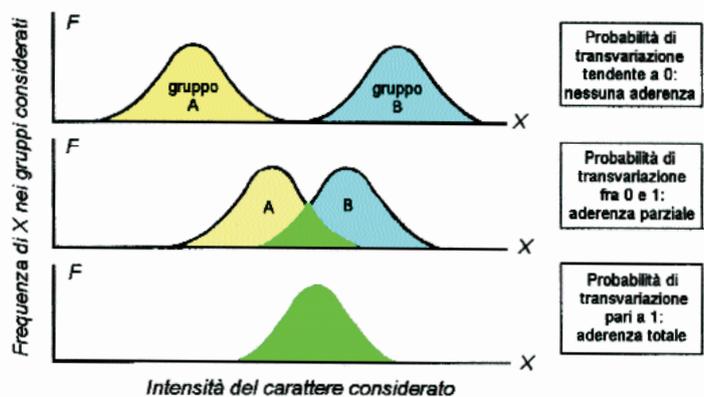


Fig. 5 - La misura della probabilità di transvariazione fra i caratteri omologhi dei gruppi biologici naturali, compresa fra 0 e 1, può rappresentarne anche la valutazione del “grado di distinzione relativa” nell’ambito del loro sistema di appartenenza. Nella figura è evidenziata la probabilità di transvariazione di un carattere fra due gruppi, corrispondenti alle due curve gaussiane A e B poste sul medesimo diagramma.

possa se non rimanere – in definitiva – quello morfologico, purché adottato in un senso molto più ampio ed elastico di quello classico. Più in particolare, ogni corretta indagine di tipo biosistemico dovrebbe secondo noi essere basata:

- preliminarmente, su uno *studio approfondito dei caratteri* dei gruppi biologici a confronto: non soltanto di quelli morfologici classici, cioè relativi all'aspetto corporeo esterno e alle strutture anatomiche interne, ma anche (ovviamente quando siano disponibili) di quelli relativi alle “forme” biochimico-molecolari, fisiologiche e comportamentali o etologiche;

- successivamente, sull'*individuazione, dal contesto di quelli studiati, dei soli caratteri demogenetici, ovvero di popolazione e con fondamento ereditario*;

- infine, sul *trattamento matematico-statistico (basato essenzialmente sulla correlazione e sulla transvariazione) dell'insieme dei caratteri demogenetici individuati*.

La suddetta linea teoretico-metodologica – rivolta essenzialmente al rilevamento statistico dei differenti ed oggettivi “gradi di transvariazione” fra i gruppi biologici naturali e proposta come “teoria demogenetica” fin dagli anni '40 del secolo scorso dall'antropologo Alfredo Sacchetti (Sacchetti, 1947a, 1949a, 1950b, 1952b, 1955, 1980, 1984; Beer & Sacchetti, 1952; Fondi, 1980; Zampi *et al.*, 1980; Sacchetti & Fondi, 1982; Fondi *et al.*, 1984; Giusti *et al.*, 1986) – si presenta senz'altro suscettibile di condurre a una radicale revisione e ridefinizione della gerarchia dei taxa naturali, basandola su un solido supporto matematico e, in ogni caso, incrementandone al massimo il valore scientifico.

La strada in questa direzione, comunque, rimane praticamente ancora tutta da percorrere.

La letteratura specialistica è stracolma di “specie” prive di fondamento biologico

Veniamo ora ad un altro problema. Tra i paleontologi dei vertebrati, e dei mammiferi in modo particolare, è pratica corrente presentare come “specie” – assegnando perciò regolarmente

ad esse la classica nomenclatura latina binomia – entità non di rado costituite da pochi se non addirittura singoli reperti, generalmente rappresentati da porzioni di dentatura, che in effetti altro non possono essere se non *morfotipi o espressioni morfologiche particolari di “specie vere” o naturali* (Stern, 1949; Merrill, 1999). Nella letteratura scientifica è andata così formandosi, nel corso del tempo, un'autentica babele di nomi latini ove soltanto gli specialisti riescono in qualche modo a districarsi. Lo scrivente si scontrò con questa realtà immediatamente all'inizio della sua carriera, allorché dovette occuparsi della sistematica di due forme estinte di mammiferi: il lagomorfo ocotonide *Prolagus* e il roditore arvicolide *Mimomys*.

È ovvio che se dai singoli morfotipi, spesso descritti in gran numero e relativi a differenti orizzonti o livelli della successione stratigrafica, si cerca di risalire alle loro sorgenti originarie – ovvero a quegli *insiemi coerenti di morfotipi, i quali soltanto se considerati nella loro globalità esprimono le “vere specie” nella loro estrinsecazione spazio-temporale* –, allora i morfotipi stessi non potranno che essere interpretati come altrettante manifestazioni ecofenotipiche di quelle unità biosistematiche naturali che esse sole, appunto in quanto “vere specie”, possono rivendicare il diritto di essere presentate con nomenclatura latina binomia.

Non va mai dimenticato, infatti, che i taxa biologici si esprimono non soltanto nelle tre dimensioni spaziali, come morfologie strettamente legate a particolari areali geografici, ma anche lungo la “quarta dimensione”, occupando perciò segmenti più o meno lunghi (compresi fra il momento della loro *comparsa* e quello della loro *estinzione*) di un decorso temporale che, dall'apparizione delle prime cellule viventi ad oggi, si calcola abbracci circa 3 miliardi e mezzo di anni. Considerata dal lato paleontologico, pertanto, una specie (ma il discorso vale anche per tutti gli altri taxa naturali) è suscettibile di persistere per milioni di anni, nell'arco dei quali potrà assumere morfologie cangianti, dovute alle sue intrinseche potenzialità genetiche di adattamento, o “norme di reazione”, alle vicissitudini ambientali del suo areale geografico di distribuzione (Fig. 6). Ciò vuol dire che il grado di variabilità intragruppo e intergruppo di ciascuna specie, e quindi anche di differenziazione

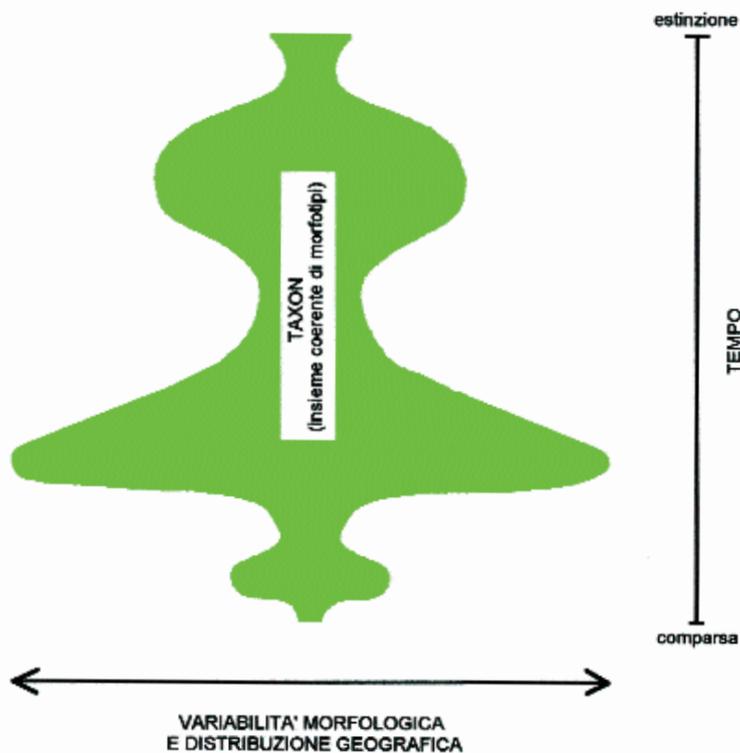


Fig. 6 - In quanto entità spazio-temporali distinguibili fra loro unicamente in senso statistico, i taxa biologici naturali sono concepiti come *insiemi coerenti di morfotipi*, con questi ultimi generati dalle intrinseche e peculiari potenzialità genetiche di adattamento (“norme di reazione”) ai differenti stimoli e mutamenti ambientali.

dalle altre specie, non potrà che essere soggetto a fluttuare continuamente, restringendosi o ampliandosi in modo più o meno drastico e irregolare.

La documentazione paleontologica, pertanto, ci spinge fortemente a ritenere che le vere specie naturali, potendo essere interessate nelle varie tappe della loro storia da variazioni e differenziazioni anche molto spinte (basti pensare, ad esempio, ai casi di adattamento insulare o sotterraneo), debbano essere concepite come entità di gran lunga più ampie, plastiche e versatili di quelle convenzionali.

Del resto, già all’inizio del secolo scorso lo zoologo tedesco Otto Kleinschmidt (1930), proponendo di sostituire al concetto classico di specie quello marcatamente olistico di *Formenkreis* o “circolo di forme” - circolo inteso non come figura geometrica, ma come *unità coerente in senso qualitativo* (quale ad esempio il *Wienerkreis* o “Circolo di Vienna” come insieme di filosofi fedeli alla stessa “idea di fondo”) -, dimostrò di avere afferrato in modo chiaro questa verità.

Rivolgendoci al caso particolare dei morfotipi di mammiferi del Plio-Pleistocene italiano ed

europeo, apparirà dunque evidente come essi, malgrado nella letteratura paleontologica siano in gran parte indicati come *bonae species*, debbano al contrario essere interpretati quali risposte di tipo adattativo (per norma di reazione), da parte di specie vere, alle differenti pressioni ambientali (temperatura, umidità, nutrimento, competizione, ecc.) collegate alle ripetute fluttuazioni climatiche verificatesi dal Pliocene medio ad oggi. Ciascun morfotipo, insomma, dovrà essere considerato come una vera e propria “istantanea morfologica” strettamente legata allo stato puntuale, cioè momentaneo e locale, dell’ecosistema di cui il suo taxon naturale forma parte dinamica inscindibile.

Pertanto, coerentemente con quanto sopra, negli articoli che seguiranno numerosi morfotipi fossili dei mammiferi presi in considerazione saranno considerati e presentati come

altrettanti ecofenotipi – o, per usare un termine recentemente introdotto in tassonomia cladistica, *eidoforonti* (si veda, ad es., Zunino, 1998) – di pochi taxa specifici, nell’ambito dei quali potranno pur sempre continuare a rappresentare, sia pure a condizione di non essere utilizzati in modo troppo rigido e acritico, un validissimo ruolo biostratigrafico. Per rimarcare il livello subspecifico, gli ecofenotipi o eidoforonti in questione saranno dunque da noi designati mediante nomenclatura latina trinomina, con il terzo nome preceduto dall’abbreviazione “ef.” (Fig. 7). Ad esempio: i rinoceronti plio-pleistocenici europei del genere *Stephanorhinus*, attualmente suddivisi in almeno sette “specie” – *S. leptorhinus* (Cuvier, 1822) (= *megarhinus* de Christol, 1834), *S. miquelcrusafonti* (Guérin & Santafé, 1978), *S. jeanvireti* (Guérin, 1972), *S. etruscus* (Falconer, 1868), *S. hundsheimensis* (Toula, 1902), *S. hemitoechus* (Falconer, 1868) e *S. kirchbergensis* (Jäger, 1839) – diventeranno altrettanti ecofenotipi o eidoforonti, scaglionati nel tempo più o meno secondo la successione sopra indicata, di un unico “vero” taxon specifico, che per rispetto a quella sorta di *copyright* vigente

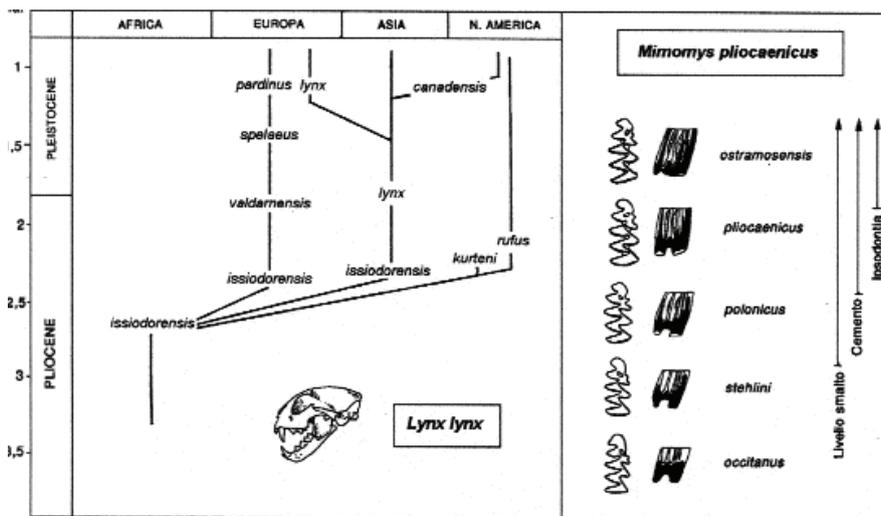


Fig. 7 - Due probabili esempi di specie naturali con i loro principali morfotipi, la Lince (*Lynx lynx*) e il roditore arvicolide estinto *Mimomys pliocaenicus* (modif. da Levinton e da Chalain & Laurin).

in tassonomia come “legge di priorità” sarà chiamato *S. leptorhinus* (Cuvier, 1822).

Biostratigrafia del Plio-Pleistocene continentale italiano in base ai depositi contenenti resti di mammiferi

Geologicamente parlando, nell’ambito del Cenozoico non esiste alcuna reale distinzione fra il Neogene e il Quaternario. Ciò risulta particolarmente evidente dallo studio dei giacimenti a mammiferi, grazie al quale è stato possibile costruire una successione biostratigrafica dei depositi continentali italiani che, dal Pliocene inferiore all’attuale, consiste di quattro “età a mammiferi” (*Mammal Ages*, MAs) – denominate, dalla più antica alla più recente, Rusciniense, Villafranchiano, Galeriano ed Aureliano – a loro volta suddivise in tappe minori contrassegnate da particolari “unità faunistiche” (UFs) (Fig. 8).

IL RUSCINIENSE

Questa età a mammiferi, il cui nome deriva dalla regione del Roussillon nella Francia meridionale, corrisponde al Pliocene inferiore e alla parte inferiore del Pliocene medio, interessando perciò il tratto di tempo compreso fra 5,3 e 3,2 milioni di anni fa. L’analisi degli spettri pollinici corrispondenti al Rusciniense fa emergere il quadro di un’Europa popolata da rigogliose foreste, che

lungo i litorali erano caratterizzate da essenze arboree come la Sequoia (*Sequoia*), la Tsuga (*Tsuga*), il Cipresso di palude (*Taxodium*), lo Storce (*Liquidambar*), il Sassofrasso (*Sassafras*) e il Tùpelo (*Nyssa*), mentre nell’entroterra avevano come generi dominanti lo Storce, l’Hickory o Noce americano (*Carya*), il Noce alato (*Pterocarya*), l’Ippocastano (*Asculus*), il Faggio (*Fagus*), la Quercia (*Quercus*), il Carpino (*Carpinus*) e

l’Ontano (*Alnus*). Durante il Rusciniense, quindi, il paesaggio vegetale dell’Europa continentale non doveva essere molto diverso da quello delle odierne foreste della Cina, del Giappone e degli Stati Uniti orientali; mentre quello dell’Europa mediterranea, caratterizzato da una notevole abbondanza di Lauro (*Laurus*), doveva apparire molto simile a quello tropicale umido dell’altipiano messicano e della Cina meridionale, ove la temperatura media del mese più freddo non scende mai al di sotto dei 5°C. Coerentemente con questo quadro, i depositi rusciniani forniscono resti di mammiferi ad habitat caldo-umido come il Tapiro europeo (*Tapirus arvernensis*), il Mastodonte di Borson (*Mammot borsoni*), l’Ananco o Mastodonte dell’Alvernia (*Anancus arvernensis*), il rinoceronte di Cuvier (*Stephanorhinus leptorhinus* ef. *leptorhinus*), un equide dagli arti tridattili (*Hipparion primigenium*), un Ippopotamo pigmeo (*Hexaprotodon sivalensis*), il Cane-procione o Tanuki (*Nyctereutes procyonoides* ef. *megamastoides*) e l’Orso nero (*Ursus thibetanus*).

IL VILFRANCHIANO

La fine del Rusciniense, situabile a circa 3,2 milioni di anni fa, fu marcata da un drastico deterioramento climatico che, accompagnandosi ad una notevole regressione marina e ad una forte caduta delle temperature oceaniche, determinò nelle medie latitudini l’ecatombe di un gran numero di animali marini bentonici. Nel solo

Mediterraneo, ad esempio, cessarono di esistere circa 80 su 348 specie di molluschi – fra i gasteropodi con un calo in diversità tassonomica dei Conidae e dei Terebridae e la scomparsa definitiva del grosso e caratteristico *Strombus coronatus*. Avendo interessato gli oceani al pari dei continenti ed essendo riconoscibile anche nell'emisfero australe, il raffreddamento di cui si tratta rappresentò forse l'evento climatico più importante del Cenozoico superiore. E l'età a mammiferi Villafranchiano, istituita nel 1865 dal marchese Pareto sulla base di sedimenti fluvio-lacustri dei dintorni di Villafranca d'Asti, nelle sue fasi inizia-

li riflette appunto l'impatto del suddetto evento climatico sulle comunità biologiche continentali dell'Europa.

Gli spettri pollinici corrispondenti ai depositi villafranchiani indicano un notevole cambiamento del paesaggio vegetale. Nelle regioni europee settentrionali si stanziò la foresta boreale a conifere, mentre in quelle mediterranee si ebbe un netto diradarsi dei popolamenti litoranei e il modificarsi di quelli dell'entroterra a beneficio di querce, hickory e ontani e a detrimento di noci, storaci e lauri. Continuavano comunque a sussistere alcune conifere particolarmente resistenti come il Cipresso di

palude, mentre la flora della regione mediterranea si manteneva generalmente rigogliosa. Nelle faune a mammiferi, il progressivo estendersi di habitat più aperti ed aridi a discapito delle foreste è testimoniato dalla comparsa di un'antilope, l'Antilope di Perrier (*Leptobos elatus*), seguita circa mezzo milione di anni dopo – in concomitanza con un nuovo drastico deterioramento climatico che portò all'estinzione del Tapiro, dell'*Hipparion* e del Mastodonte di Borson – da quelle del primo elefantide, il Mammuth meridionale (*Mammuthus meridionalis*), e del primo equide ad arti monodattili, la Zebra di Stenone (*Equus sivalensis* ef. *livenzovensis*). Poiché l'Antilope di Perrier, il Mammuth meridionale e la Zebra di Stenone erano specie precedentemente assenti dalle faune continentali europee, è ragionevole supporre che fossero immigrate

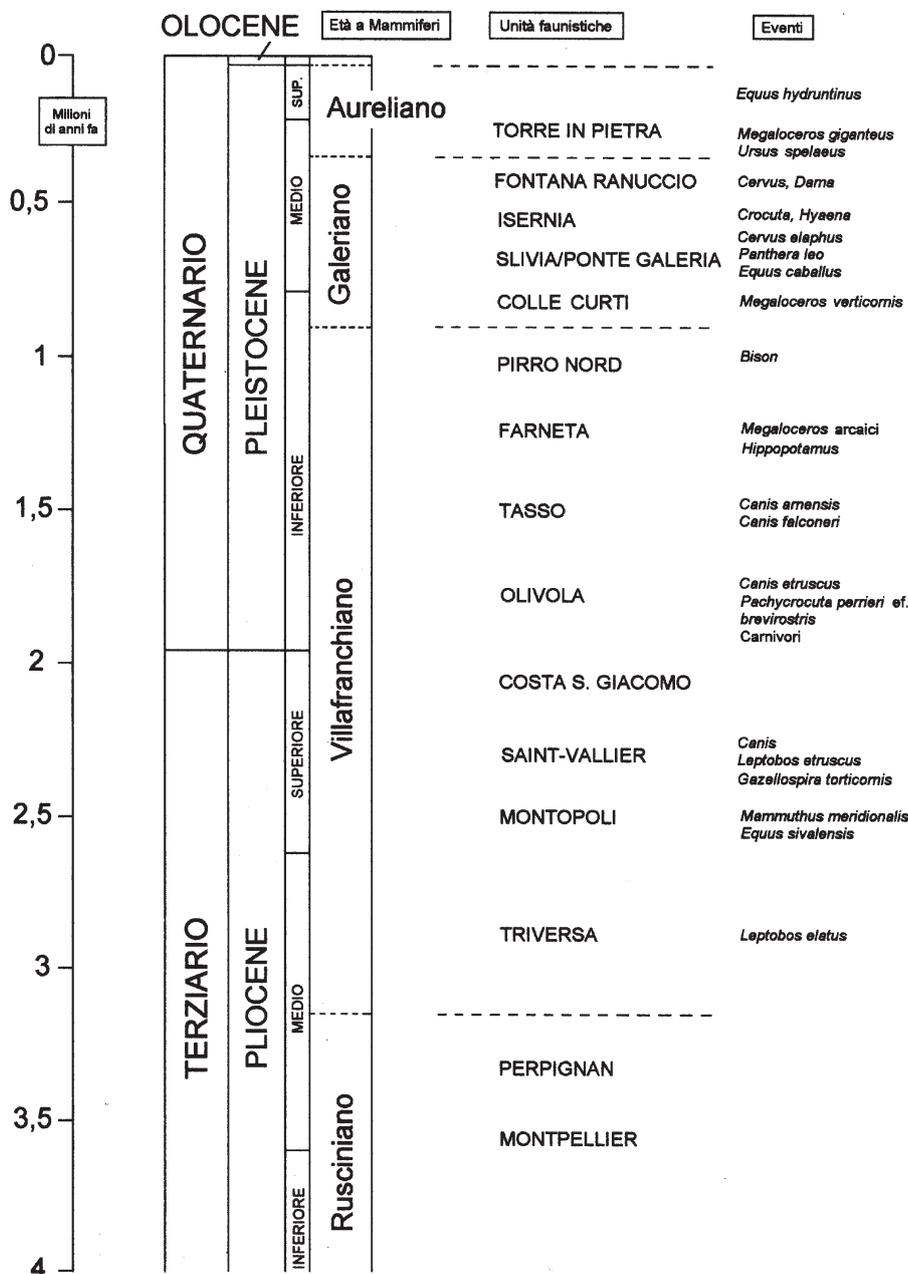


Fig. 8 - Età a mammiferi, unità faunistiche ed eventi evolutivi del Plio-Pleistocene italiano.

dall'Asia.

Complessivamente, il Villafranchiano abbraccia il lungo arco di tempo, compreso fra il Pliocene medio inoltrato e il tardo Pleistocene inferiore (e quindi da 3,2 a circa 1 milione di anni fa), durante il quale in Europa si verificò la graduale e pressoché totale scomparsa della fauna a mammiferi tardo-terziaria. Si rese opportuno, quindi, suddividere questa MA in tre momenti successivi (inferiore, medio e superiore) sulla base di UFs in essa riconoscibili. La scuola di Firenze, capeggiata da Augusto Azzaroli, ha proposto varie UFs, quasi tutte riferite a stratotipi toscani e, dalla più antica alla più recente, così denominate: *Triversa* e *Montopoli* per il Villafranchiano inferiore (Pliocene medio *pro parte*, escludendovi cioè la sua parte iniziale); *Saint-Vallier* e *Costa S. Giacomo* per il Villafranchiano medio (Pliocene superiore); *Olivola*, *Tasso*, *Farneta* e *Pirro Nord* per il Villafranchiano superiore (Pleistocene inferiore *pro parte*, escludendone cioè la parte terminale).

I depositi villafranchiani della Toscana sono da lungo tempo famosi per l'abbondanza dei resti di mammiferi che vi sono stati rinvenuti e che sono per la maggior parte conservati nei musei di Paleontologia dell'Università di Firenze, dell'Accademia Valdarnese del Poggio a Montevarchi e dell'Accademia dei Fisiocritici a Siena. I resti in questione sono assegnabili ad una ventina circa di specie estinte, tra le quali possono qui essere citati: fra i Proboscidi, il Mammuth meridionale (*Mammuthus meridionalis*); fra i Perissodattili, il Rinoceronte di Cuvier (*Stephanorhinus leptorhinus* ef. *etruscus*) e la Zebra di Stenone (*Equus sivalensis* ef. *stenonis*); fra gli Artiodattili, il Cinghiale di Strozzi (*Sus strozzi*), il Cervo ramoso (*Croizetoceros ramosus*), il Cervo di Sedgwick (*Eucladoceros sedgwicki*), il Cervo di Pardines (*Axis pardinensis*), l'Antilope di Perrier (*Leptobos elatus*), l'Antilope etrusca (*Leptobos etruscus*), la Gazzella borbonica (*Gazella borbonica*), la Gazzella torticorne (*Gazellospira torticornis*) e l'Antilope camoscio (*Procamptoceras brivatense*); fra i Carnivori, la Iena lunense (*Chasmaporthetes lunensis*), la Iena di Perrier (*Pachycrocuta perrieri*), il Ghepardo gigante (*Acinonyx jubatus* ef. *pardinensis*), i felini

dai denti a sciabola Megantereo (*Megantereon cultridens*) e Omoterio (*Homotherium crenatidens*), il Giaguaro europeo (*Panthera gombaszogensis*) e il Lupo arcaico (*Canis lupus* ef. *etruscus*); fra i Roditori, gli Arvicolidi con molari a crescita limitata del genere *Mimomys*.

IL GALERIANO

Intorno a 1 milione di anni fa, il variare del clima e dei paleoambienti si accompagnò al modificarsi delle faune. Dopo una prima fase che può essere definita di transizione, un nuovo drastico deterioramento climatico determinò un radicale rinnovamento della fauna a mammiferi europea. Infatti le specie tipiche del Villafranchiano, malgrado riuscissero in alcuni casi (come ad es. il Rinoceronte di Cuvier, la Zebra di Stenone, il Cervo di Pardines e, forse, anche il Mammuth meridionale) ad adattarsi alle mutate condizioni ambientali, per la massima parte andarono estinte e vennero sostituite da una schiera di nuovi elementi provenienti dall'Asia tramite successive ondate migratorie. A Ponte Galeria, pochi chilometri a nord-ovest di Roma, ciò è testimoniato dai livelli deltizi immediatamente sovrastanti i depositi marini del Pleistocene inferiore: livelli contenenti una fauna a mammiferi di tipo moderno (con netta predominanza, come avviene attualmente, di specie adattate ad ambienti aperti o con scarsa copertura boschiva) e con riferimento ai quali Pierluigi Ambrosetti propose l'istituzione dell'età a mammiferi Galeriano.

Questa nuova MA, inaugurata dalla comparsa di un cervo gigante, il Megacero verticorne (*Megaloceros solilhacus* ef. *verticornis*), è stata suddivisa in inferiore, media e superiore in base al susseguirsi di 4 UFs: *Colle Curti* per il Galeriano inferiore (Pleistocene inferiore terminale), *Slivial/Ponte Galeria* e *Isernia* per il Galeriano medio (parte iniziale del Pleistocene medio inferiore) e *Fontana Ranuccio* per il Galeriano superiore (parte terminale del Pleistocene medio inferiore). In ogni caso, dall'inizio del Galeriano medio (che può essere fatto corrispondere allo stadio isotopico 22 della scala oceanica delle paleotemperature), le oscillazioni climatiche dei continenti acquistarono ampiezze sensibilmente

maggiori di quelle osservate in precedenza, passando in media da 41.000 a 100.000 anni circa e traducendosi in numerosi episodi di espansione glaciale intervallati da episodi temperati o addirittura caldi. In effetti, i relativi spettri pollinici mostrano un gran numero di alternanze di fasi aride e fredde caratterizzate soprattutto da steppe a Composite (*Artemisia*) e a Chenopodiacee, con fasi temperate più umide segnate dalla diffusione del querceto a foglia caduca (*Quercus*, *Ulmus*, *Alnus*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fraxinus*) spesso accompagnato dall'Abete bianco (*Abies*) e dal Peccio o Abete rosso (*Picea*). Le suddette oscillazioni climatiche, comunque, non determinarono cambiamenti rivoluzionari nelle faune a mammiferi, che già sin dall'inizio della MA avevano praticamente assunto un aspetto moderno.

Le faune galeriane erano distribuite nell'intera regione paleartica ed includevano: fra i Proboscidiati, l'Elefante eurasiatico (*Palaeoloxodon namadicus*) e la forma più arcaica del Mammuth lanoso (*Mammuthus primigenius* cf. *armeniacus*); fra i Perissodattili, due particolari adattamenti ecofenotipici del villafranchiano Rinoceronte di Cuvier (*Stephanorhinus leptorhinus* cf. *hemitoechus* e *S. leptorhinus* cf. *kirchbergensis*) e, assieme al Cavallo (*Equus ferus*), almeno due adattamenti ecofenotipici della Zebra di Stenone (*Equus sivalensis* cf. *stehlini* ed *Equus sivalensis* cf. *süßenbornensis*); fra gli Artiodattili, l'Ippopotamo gigante (*Hippopotamus amphibius* cf. *antiquus*), il Cinghiale comune (*Sus scrofa*), due cervi giganti – il Megacero verticorne (*Megaloceros solilhacus* cf. *verticornis*) e la forma arcaica del Megacero gigante (*Megaloceros giganteus* cf. *savini*) –, il Cervo rosso o nobile (*Cervus elaphus* cf. *acoronatus*), il Capriolo (*Capreolus capreolus*), il Daino (*Dama dama* cf. *clactoniana*), l'Uro (*Bos primigenius*), un bovide di origine indiana (*Hemibos galerianus*) e le forme più arcaiche del Bisonte (*Bison bonasus* cf. *schoentensacki*); tra i Carnivori, la Iena macchiata (*Crocuta crocuta*), il Leone gigante (*Panthera leo* cf. *fossilis*), il Leopardo (*Panthera pardus*) e l'Orso bruno arcaico (*U. arctos* cf. *deningeri*); tra i Roditori, gli Arvicolidi con molari a crescita continua dei generi *Arvicola* e *Microtus*.

L'AURELIANO

L'arco di tempo compreso tra la fine del Galeriano e l'Olocene ebbe inizio con un marcato rinnovamento faunistico, contrassegnato dalla scomparsa del Megacero verticorne e della forma più arcaica del Megacero gigante, concomitanti al progressivo instaurarsi della fauna attuale. Poiché in Italia i primi ricchi giacimenti relativi a quest'arco di tempo furono individuati lungo la via Aurelia nella costa tirrenica laziale, i paleontologi della scuola di Roma hanno proposto di istituire una nuova età a mammiferi, l'Aureliano, per il pacco di sedimenti continentali riferibili al tardo Pleistocene medio e al Pleistocene superiore. L'età è stata suddivisa in una fase inferiore e in una superiore; tuttavia soltanto la prima risulta definibile con una precisa UF, denominata *Torre in Pietra*. Questa unità è segnata dalla prima apparizione del Daino (*Dama dama*) e del Lupo (*Canis lupus*) moderni, dell'Orso speleo (*Ursus spelaeus*) e della forma tipica del Megacero gigante (*Megaloceros giganteus* cf. *giganteus*), nonché dalla caratteristica associazione dell'Elefante eurasiatico con l'Uro e con i primi rappresentanti del Cervo rosso attuale.

Nell'Aureliano superiore, per contro, sono individuabili in Italia due complessi faunistici successivi. Il più antico include le associazioni relative alle oscillazioni dell'ultimo episodio interglaciale ed è pertanto caratterizzato dal predominare di taxa di ambiente temperato-caldo e dal persistere di forme di tradizione medio-pleistocenica quali i pachidermi (proboscidiati, rinoceronti e ippopotami) e i felini. Il più recente, invece, è legato alle più rigide condizioni climatiche dell'ultimo episodio glaciale, risultando perciò caratterizzato dall'estinzione dei suddetti taxa e dalla concomitante diffusione di specie adattate a tali condizioni quali il Rinoceronte lanoso (*Coelodonta antiquitatis*) e la forma tipica del Mammuth lanoso (*Mammuthus primigenius* cf. *primigenius*), nonché dall'espandersi verso valle dell'areale di specie montane come il Camoscio (*Rupicapra rupicapra*) e lo Stambecco (*Capra ibex*), dalla presenza di un'avifauna fredda, dal confinarsi nel meridione dell'Emilione d'Otranto (*Equus hydruntinus*) e da un crescente condizionamento da influenza antropica.

Testi citati e di approfondimento

- Azzaroli A. (1970) – *Villafranchian correlations based on large mammals*. *Giorn. Geol.* (2), 35 (1), 111-131, Bologna.
- Azzaroli A. (1977) – *The villafranchian stage in Italy and the Plio-Pleistocene boundary*. *Giorn. Geol.* (2) 41 (1-2), 61-79, Bologna.
- Azzaroli A. (1991) – *Major events at the transition from early to middle Pleistocene*. *Il Quaternario*, 4 (1a), 5-11.
- Azzaroli A. & Ambrosetti P. (1970) – *Late Villafranchian and early mid-Pleistocene faunas in Italy*. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 8, 107-111, Amsterdam.
- Azzaroli A., De Giuli C., Ficcarelli G. & Torre D. (1982) – *Table of the stratigraphic distribution of terrestrial mammalian faunas in Italy from the Pliocene to the early middle Pleistocene*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 5, 55-58.
- Azzaroli A., De Giuli C., Ficcarelli G. & Torre D. (1988) – *Late Pliocene to early middle Pleistocene mammals in Eurasia: faunal succession and dispersal events*. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 66, 77-100, Amsterdam.
- Beer S. & Sacchetti A. (1952) – *Problemi di sistematica biologica*. 670 pp., Einaudi, Torino.
- Berlocher S.H. (1998) – *Origins. A brief history of research on speciation*. In: “Endless forms: species and speciation” (Howard & Berlocher, eds.), Oxford University Press, 3-15.
- Caloi L., Gliozzi E., Kotzakis T., Malatesta A. & Palombo M.R. (1986) – *Osservazioni sulla paleobiogeografia dei mammiferi del Pleistocene italiano*. *Hystrix*, 1, 7-23.
- Chaline J. & Laurin B. (1986) – *Phyletic gradualism in a European Plio-Pleistocene *Miomys* lineage (Arvicolidae, Rodentia)*. *Palaeobiology*, 12, 203-216.
- Fondi R. (1969) – *Prolagus sardus* Wagner (Ochotonidae, Lagomorpha, Mammalia) *da una breccia ossifera della Montagnola Senese*. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A*, 77, 260-288, Pisa.
- Fondi R. (1980) – *Riesame tassonomico dei Conidae (Mollusca, Gastropoda) del Miocene di Montegibbio presso Modena*. *Atti IV Congr. Soc. Malacol. Ital.* (Siena, 6-9 ottobre 1978), 295-312, Accademia dei Fisiocritici, Siena.
- Fondi R., Scala C. & Castagnolo L. (1984) – *The genus *Unio* Philipsson 1788 (Mollusca, Bivalvia) in Italy. Biometrical study of six populations, on the basis of their conchological characters*. *Boll. Malacologico*, 20 (1-4), 35-52, Milano.
- Giusti F., Grappelli C., Manganello G., Fondi R. & Bullini L. (1986) – *An attempt of natural classification of the genus *Medora* in Italy and Yugoslavia, on the basis of conchological, anatomical and allozymic characters (Pulmonata: Clausiliidae)*. *Lavori S.I.M.*, 22, 259-362, *Atti Congr. Palermo* 13-16 sett. 1984, Palermo.
- Gliozzi E., Abbazzi L., Argenti P., Azzaroli A., Caloi L., Capasso Barbato L., Di Stefano G., Esu D., Ficcarelli G., Girotti O., Kotzakis T., Masini F., Mazza P., Mezzabotta C., Palombo M.R., Petronio C., Rook L., Sala B., Sardella R., Zanalda E. & Torre D. (1997) – *Biochronology of selected mammals, molluscs and ostracods from the middle Pliocene to the late Pleistocene in Italy. The state of the art*. *Riv. It. Paleont. Strat.*, 103 (3), 369-388.
- Guérin C. (1998) – *Biozones or mammal units? Methods and limits in biochronology*. In: “European Neogene Mammal Chronology” (Lindsay, Fahlbush & Mein, eds.), Plenum Press/NATO Scientific Affairs Division, New York and London.
- Harrison R.G. (1998) – *Linking evolutionary pattern and process: the relevance of species concepts for the study of speciation*. In: “Endless forms: species and speciation” (Howard & Berlocher, eds.), Oxford University Press, 19-31.
- Kleinschmidt O. (1930) – *The Formenkreis theory and the progress of the organic world*. Witherby, London.
- Levinton J. (1988) – *Genetics, Paleontology and Macroevolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Masini F. & Torre D. (1970) – *Large mammals dispersal events at the beginning of the late Villafranchian*. In: “European Neogene Mammal Chronology” (Lindsay, Fahlbush & Mein, eds.), Plenum Press/NATO Scientific Affairs Division, New York and London.

- Mein P. (1979) – *Rapport d'activité du groupe de travail Vertébrés. Mise à jour de la biostratigraphie du Néogène basée sur les mammifères*. Ann. Géol. Pays héllén., H.S./3, 1367-1372.
- Merrill G.K. (1999) – *Neognathodus and the species concept in conodont paleontology*. Boll. Soc. Paleont. Ital., 37.
- Sacchetti A. (1947) – *Alcuni problemi di sistematica biologica. Per una metodologia*. Riv. Biol. Colon., 8, 79-110, Roma.
- Sacchetti A. (1949) – *Su una "soglia" di equilibrio instabile dell'individuo considerato come "unità demogenetica"*. Rend. Acc. Naz. di Scienze, Lettere ed Arti, Ser. 4, 16, 8-42, Napoli.
- Sacchetti A. (1950) – *El significado y el cálculo de la transvariación sintética en biología*. Rev. de la Fac. de C. E. Fís. y Naturales Univ. Córdoba, 13 (4), 1-55, Córdoba (Arg).
- Sacchetti A. (1952) – *Especies y razas en el orden biológico*. Inst. Investig. Demogenéticas Univ. Nac. Córdoba, Publ. 7, 1-65, Córdoba (Arg).
- Sacchetti A. (1955) – *Teoría Demogenética*. Rev. de la Fac. de C. Exactas, Fís. y Nat. Univ. Nac. Córdoba, 17 (1), 107-199, Córdoba (Arg.).
- Sacchetti A. (1981) – *La teoria demogenetica di fronte alle nuove idee in biologia*. Riv. Biologia, 74 (1-2): 99-123.
- Sacchetti A. (1984) – *Ordine e variabilità in biologia: considerazioni su teoria e metodi*. Riv. Biologia, 77 (2), 233-261, Perugia.
- Sacchetti A. & Fondi R. (1982) - *Verso una taxologia del systema naturae*. Riv. Biologia, 75 (2), 273-292, Perugia.
- Sala B., Masini F., Ficarelli G., Rook D. & Torre D. (1992) – *Mammal dispersal events in the middle and late Pleistocene of Italy and Western Europe*. Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, 153, 59-68, Frankfurt a. M.
- Schilthuizen M. (2001) – *Frogs, flies and dandelions*. Oxford University Press, Oxford.
- Steininger F., Bernor R.L. & Fahlbush V. (1989) – *European Neogene Marine/Continental Chronologic Correlations*. In: "European Neogene Mammal Chronology" (Lindsay, Fahlbush & Mein, eds.), Plenum Press/NATO Scientific Affairs Division, New York and London.
- Stern C. (1949) – *Gene and character*. In: "Genetics, palaeontology and evolution" (Jepsen, Mayr & Simpson, eds.), Princeton University Press.
- Torre D., Ficarelli G., Masini F., Rook L. & Sala B. (1992) – *Mammal dispersal events in the early Pleistocene of Western Europe*. Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, 153, 51-58, Frankfurt a. M.
- Zampi M., Fondi R. & Scala C. (1980) - *Biometrical and structural study of two populations of Miliolidae (Foraminifera). With a discussion about the taxonomic validity of the genus Cruciloculina D'Orbigny 1839*. Giorn. Geol., 63, 277-301, Bologna.
- Zunino M. (1998) – *Il pensiero dicotomico nella tassonomia biologica*. Systema Naturae, 1, 195-212.

La geochimica del particolato atmosferico e della polvere stradale nell'area di Siena

Mirko Crezzini, Luigi A. Di Lella, Emanuele Pizzetti, Giuseppe Protano, Francesco Riccobono

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Sezione di Geochimica Ambientale e Conservazione del Patrimonio Culturale Lapideo
Via Laterina, 8 – 53100 Siena

L'inquinamento atmosferico rappresenta uno dei principali problemi ambientali del nostro tempo. Numerose sostanze inquinanti, in forma di gas e di particelle sospese, sono immesse in aria da molteplici sorgenti antropiche quali attività industriali e produttive, traffico veicolare e riscaldamento domestico.

Negli ultimi decenni l'inquinamento atmosferico causato dai veicoli a motore, che rappresentano la principale fonte di particelle fini inalabili, ha assunto nelle aree urbane forme preoccupanti. Per i centri urbani si pone quindi la necessità di un monitoraggio dei livelli di concentrazione in aria del particolato atmosferico e di una sua caratterizzazione chimica relativa ai contenuti di elementi in traccia con valenza tossicologica.

In quest'ottica, il presente articolo intende fornire un contributo alla conoscenza della qualità ambientale dell'area urbana di Siena e delle sue immediate zone limitrofe a carattere rurale. Lo scopo è di ottenere un quadro delle concentrazioni del particolato atmosferico e della diffusione di alcune specie chimiche tossiche o potenzialmente tossiche presenti nell'aria e nelle polveri stradali.

Introduzione

Nelle attuali società post-industriali le problematiche ambientali e di sanità pubblica legate all'inquinamento atmosferico destano un crescente e preoccupato interesse. Quest'attenzione deriva dal fatto che, oggi, numerose attività antropiche immettono nell'aria elementi e sostanze tossiche in forma di gas e di particelle sospese. Questi processi avvengono principalmente nelle aree urbane, nei poli industriali e nelle infrastrutture stradali.

Nelle aree urbane le principali cause di inquinamento atmosferico sono rappresentate dal traffico veicolare, dal riscaldamento domestico e dalle attività produttive. Al riguardo si rileva che quello causato dai veicoli a motore ha assunto negli ultimi decenni dimensioni preoccupanti. Infatti le emissioni provocate dalle automobili e dai mezzi pesanti risultano responsabili dell'80% circa del-

l'inquinamento dell'aria.

I principali inquinanti da traffico veicolare provengono essenzialmente dai gas di scarico e dalle particelle incombuste dei mezzi di trasporto, dall'usura delle varie componenti dei mezzi (ad esempio, pneumatici, freni, ecc.) e dall'abrasione del manto stradale. Questi inquinanti sono: particolato atmosferico, anidride solforosa (SO₂), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), dibenzodiossine policlorurate (PCDDs), dibenzofurani policlorurati (PCDFs), benzene, ozono e composti ossigenati (come il metil-terz-butiletere, MTBE).

La concentrazione in aria del particolato atmosferico e la natura chimica delle particelle che lo costituiscono rappresentano elementi basilari per una corretta valutazione della qualità dell'ambiente nei centri urbani. Ciò è dovuto al fatto che il particolato atmosferico è normalmente arricchito in un'ampia gamma di elementi pesanti con più o

meno spiccata valenza tossicologica, quali il piombo, i platinoidi (ad es. il palladio e il platino), l'antimonio e il cadmio.

Attualmente il particolato rappresenta nelle aree urbane l'inquinante atmosferico più critico, dato che l'impatto delle emissioni particolarmente di monossido di carbonio ed ossidi di azoto si è significativamente ridotto. L'uso delle marmitte catalitiche consente infatti di abbattere fino al 90% le emissioni di CO, NO_x ed idrocarburi incombusti. Nelle stesse aree anche le concentrazioni di piombo sono diminuite; tuttavia, al medesimo tempo, gli elementi del gruppo dei platinoidi (platino, palladio, rutenio, iridio, rodio) usati per la fabbricazione dei convertitori catalitici sono diventati inquinanti caratteristici delle zone a rilevante traffico veicolare.

In questo articolo sono evidenziati i risultati di una campagna di monitoraggio e caratterizzazione chimica del particolato atmosferico presente in alcuni siti dell'area urbana di Siena e dei suoi immediati dintorni rurali. Si tratta di dati preliminari relativi ai livelli di concentrazione nell'aria del particolato atmosferico e alla sua composizione per quanto riguarda un'ampia gamma di elementi chimici di interesse ambientale come l'arsenico (As), il cadmio (Cd), il cobalto (Co), il cromo (Cr), il rame (Cu), il ferro (Fe), l'iridio (Ir), il manganese (Mn), il nichel (Ni), il palladio (Pd), il piombo (Pb), il platino (Pt), l'antimonio (Sb), il rodio (Rh), il rutenio (Ru), il titanio (Ti) e lo zinco (Zn).

La ricerca ha interessato anche le polveri stradali raccolte lungo le principali arterie di circolazione della città di Siena. Ciò per poter definire e valutare la presenza ed il grado di arricchimento nella polvere stradale degli elementi chimici sopra menzionati, in considerazione del fatto che le polveri accumulate lungo i tratti stradali risentono delle emissioni del traffico veicolare e rappresentano una sorgente di diffusione di sostanze inquinanti nel tessuto urbano.

Il particolato atmosferico

Per particolato atmosferico o *particulate matter* (PM) si intende l'insieme di particelle solide e

liquide, di forma e dimensioni variabili da 0.001 a 100 micron (μm), presenti in varia misura nell'aria che respiriamo.

Il comportamento del particolato atmosferico ed il suo grado di pericolosità per gli organismi viventi dipendono essenzialmente dalle dimensioni e composizione delle particelle. Infatti, i meccanismi di diffusione e ricaduta del particolato e l'efficienza dell'inalazione e della deposizione respiratoria sono correlati al diametro delle particelle (Hinds, 1999), mentre la natura chimica delle stesse ne determina la tossicità (Spurny, 1998).

L'insieme delle particelle presenti in atmosfera è usualmente definito PTS (Polveri Totali Sospese). Le polveri totali sono generalmente distinte in due classi dimensionali in relazione alla capacità di penetrazione nelle vie respiratorie. Le particelle che penetrano nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) hanno un diametro aerodinamico inferiore a 10 μm e costituiscono il cosiddetto PM₁₀. Quelle in grado di raggiungere le parti più profonde dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, bronchioli e alveoli polmonari) hanno invece un diametro aerodinamico inferiore a 2.5 μm e sono classificate come PM_{2.5}. Generalmente le particelle comprese tra 10 e 2.5 μm sono in gran parte formate da frammenti derivanti da rocce e suolo, pollini ed altri costituenti di origine non antropica. Al contrario, nella frazione inferiore a 2.5 μm prevale la componente antropogenica, prodotta, ad esempio, da traffico veicolare, processi di combustione industriale e civile, ecc.

Il particolato atmosferico può avere natura primaria o secondaria. La componente primaria è emessa direttamente in atmosfera da processi naturali o antropici, mentre quella secondaria si forma in atmosfera a seguito di reazioni chimiche che coinvolgono sostanze quali ossidi di azoto e zolfo, ammoniaca e composti organici volatili.

Per quanto accennato, le sorgenti del particolato atmosferico, sia naturali che antropiche, possono essere numerose e diversificate. Le più importanti sorgenti naturali sono sostanzialmente: aerosol marino, aerosol biogenico, incendi boschivi, emissioni vulcaniche. In tale ambito non va dimenticato il rilevante apporto fornito usualmente da suoli e rocce nella forma di particelle risolle-

vate e trasportate dal vento. Le più importanti fonti antropiche sono da ricondurre a: processi di combustione, industriali e civili, di carbone, oli, legno e rifiuti; emissioni industriali (ad es. da cementifici, fonderie, miniere); traffico veicolare.

Nelle aree urbane il traffico veicolare rappresenta la fonte principale di particolato atmosferico, anche se contributi rilevanti possono provenire dal riscaldamento domestico o da attività industriali. Il traffico veicolare è responsabile della formazione di particolato per emissione di gas di scarico, per usura di pneumatici, freni, carrozzeria, marmitte e batterie nonché per l'abrasione del manto stradale e la risospensione del materiale depositato su di esso (polvere stradale). Elementi chimici quali, ad esempio, il ferro, il manganese, il piombo, il rame, lo zinco, il cromo, il nichel, il cadmio e il mercurio sono immessi in aria con la frazione incombusta delle reazioni di combustione dei carburanti. Il deterioramento dei componenti della struttura veicolare può comportare il rilascio di particelle arricchite in ferro, cromo e zinco. Zinco e cadmio possono provenire dall'usura del battistrada dei pneumatici, mentre piombo, cromo, manganese ed antimonio dal ferodo dei freni. Con la recente introduzione delle marmitte catalitiche, inoltre, gli elementi del gruppo del platino, sono divenuti inquinanti specifici delle aree urbane interessate da traffico veicolare in quanto rilasciati dal deterioramento di questi convertitori.

Le emissioni degli autoveicoli vanno preferenzialmente a depositarsi ed accumularsi sul manto stradale, andando a formare un depositato, definito polvere stradale. Ne consegue che la polvere stradale gioca un ruolo primario sulla qualità dell'aria in zone intensamente trafficate in considerazione del fatto che la circolazione veicolare comporta inevitabilmente il sollevamento e diffusione di queste polveri.

Numerosi studi epidemiologici hanno dimostrato un legame tra la concentrazione del particolato in aria e le ripercussioni sulla salute umana (Schwartz, 1994; Gamble & Lewis, 1996; Ostro, 1995; Sram *et al.*, 1996). In particolare, gli effetti dannosi delle polveri atmosferiche appaiono connessi con le dimensioni delle particelle sospese e quindi con la loro capacità di penetrazione nell'albero respiratorio, nonché con la loro composizio-

ne soprattutto per quanto riguarda la presenza di inquinanti inorganici (come gli elementi pesanti) ed organici (come gli idrocarburi policiclici aromatici).

Negli ultimi anni la comunità internazionale ha inteso definire le soglie di attenzione e di rischio legate alla presenza di particolato atmosferico. In Italia, con Decreto Ministeriale del 2 aprile 2002 n. 60 sono state recepite le direttive della Comunità Europea (1999/30/CE e 2000/69/CE) che stabiliscono i nuovi valori limite di concentrazione in aria del biossido di zolfo, del biossido e degli ossidi di azoto, del PM₁₀, del piombo, del benzene e del monossido di carbonio.

I limiti del PM₁₀ riguardano la soglia giornaliera e quella annuale, la cui piena attuazione (stage I) è prevista entro il gennaio del 2005. Nello specifico è stata fissata una concentrazione limite giornaliera del PM₁₀ pari a 50 mg/m³ (microgrammi, cioè milionesimi di grammo per metro cubo), da non superare più di 35 volte l'anno, mentre la soglia media annua è stata collocata a 40 mg/m³. È stata pianificata una seconda fase (stage II), da attuarsi entro il gennaio del 2010, che prevede un ulteriore abbassamento a 20 mg/m³ del limite medio annuale del PM₁₀.

Livelli di concentrazione e composizione chimica del particolato atmosferico nell'area di Siena

Come detto in precedenza, l'area considerata per questo studio riguarda la città di Siena (Fig. 1) ed i suoi dintorni rurali.

Siena è una città di dimensioni medio-piccole, con una popolazione di circa 60.000 abitanti, a vocazione turistica e dalle limitate attività industriali. Ne consegue che la presenza nell'aria di inquinanti prevalentemente associati alle particelle inalabili è essenzialmente riconducibile al traffico veicolare, cui può sommarsi nei mesi invernali l'apporto dato dai processi di combustione di tipo domestico come il riscaldamento.

Per la realizzazione di questo studio sono state prese in considerazione quali matrici ambientali il particolato atmosferico e la polvere stradale.

Il prelievo del particolato atmosferico ha



Fig. 1 - Ubicazione dei siti di campionamento di particolato atmosferico e polvere stradale nell'area urbana di Siena.

riguardato la frazione inferiore a 10 μm , definita PM_{10} . La raccolta del PM_{10} è stata effettuata mediante un campionario portatile, costituito da un aspiratore ad alto flusso accoppiato ad un frazionatore per polveri inferiori a 10 μm . Il campionario, posto ad un'altezza di 1.5 m, ha operato in condizioni di flusso costante aspirando circa 1 m^3 di aria ogni ora. Il PM_{10} è stato raccolto su filtri di cellulosa.

Il campionamento ed il monitoraggio del particolato atmosferico sono stati effettuati in 3 siti che individuano contesti ambientali differenti (Fig. 1): quello di Colonna S. Marco (zona urbana di Siena), quello di Porta Laterina (zona urbana di Siena) e quello di Basciano (zona rurale nel comu-

ne di Monteriggioni). Il sito di Colonna S. Marco, ubicato nel settore occidentale di Siena, ricade in una zona interessata da intenso traffico veicolare. In questa località, il monitoraggio di particolato atmosferico è stato effettuato nei mesi di luglio, settembre, ottobre e novembre del 2001, per un totale di 4 prelievi che coprono un ampio *range* di condizioni climatiche e di variazione del flusso della circolazione automobilistica. Tali prelievi del PM_{10} sono stati effettuati nell'intervallo diurno 08:00-20:00, a ridosso di un incrocio stradale molto trafficato. Il sito di Porta Laterina, anch'esso nel settore occidentale di Siena, è collocato poco al di fuori delle mura del centro storico, in una zona urbana caratterizzata da traffico veicola-

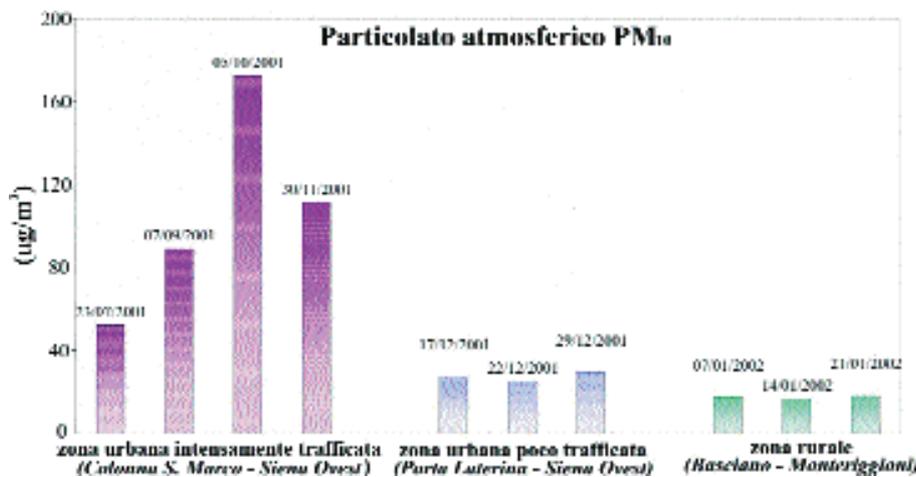


Fig. 2 - Concentrazione in aria del particolato atmosferico inferiore a 10 µm (PM₁₀).

re piuttosto ridotto. Il monitoraggio del particolato atmosferico è stato effettuato nel mese di dicembre del 2001, per un totale di 3 prelievi eseguiti nell'arco delle 24 ore. Il sito di Basciano, nel comune di Monteriggioni, individua un settore rurale dei dintorni di Siena distante circa 7 km dal centro cittadino. Il campionamento del PM₁₀ è stato realizzato nel mese di gennaio del 2002, per un totale di 3 prelievi eseguiti nell'arco delle 24 ore.

Il prelievo delle polveri stradali è stato effettuato al bordo della carreggiata stradale in punti del centro urbano di Siena interessati da intenso traffico veicolare. Il campionamento è avvenuto nelle seguenti zone: Stellino (Siena Nord), Colonna San Marco (Siena Ovest), Tribunale (Siena Centro), Stazione Ferroviaria, Viale Sardegna (Siena Est).

Di seguito sono illustrati e commentati i livelli di concentrazione nell'aria del PM₁₀ e di alcuni elementi in traccia di rilevanza ambientale in esso contenuti (ad es. Pb, Sb, platinoidi). A corredo della ricerca si riporta anche la geochimica delle polveri del manto stradale delle principali arterie di circolazione della città.

LIVELLI DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO PM₁₀

I risultati del monitoraggio effettuato nel dicembre del 2001 nel sito di Porta Laterina, ai margini del centro storico di Siena e non interessato da intenso traffico veicolare, indicano con-

centrazioni di particolato atmosferico PM₁₀ piuttosto omogenee e comprese nell'intervallo 26-30 mg/m³ (Fig. 2). Questi livelli di concentrazione sono del tutto confrontabili con i contenuti usuali del particolato atmosferico in città medio-piccole, con limitata incidenza di attività industriali: 20-40 mg/m³ (Fergusson, 1990).

In contesti urbani più popolati e con una più o meno rilevante presenza di industrie le concentrazioni del PM₁₀ sono più elevate attestandosi, in media, sopra i 50 mg/m³: Pisa - 57 mg/m³; Milano - 87 mg/m³; Atene - 92 mg/m³ (Hoek *et al.*, 1997; Marcazzan *et al.*, 2001).

Le concentrazioni nella zona extraurbana di Basciano sono risultate molto omogenee attorno ai 17 mg/m³: valore che concorda con gli abituali contenuti del particolato atmosferico inferiore a 10 µm in aree rurali, stimati nell'ordine dei 10-20 mg/m³ (Fergusson, 1990). A titolo di esempio, si ricorda che in siti rurali della Spagna sono stati misurati, nel periodo 1995-1998, livelli medi di PM₁₀ compresi tra 14 e 33 mg/m³ (Artinano *et al.*, 2001); in zone agricole remote del Canada la concentrazione media di PM₁₀, nel periodo 1996-1998, è risultata di 8.8 mg/m³, livello che si innalza a circa 17 mg/m³ in siti rurali prossimi (nell'ordine di qualche chilometro) a città o complessi industriali (Cheng *et al.*, 1998).

Un differente quadro ambientale è stato rilevato nel periodo luglio-novembre 2001 nella zona ad intenso traffico veicolare di Colonna S. Marco, nel settore occidentale dell'area urbana di Siena. In questa località le concentrazioni di PM₁₀, misurate nell'arco diurno 8.00-20.00, si sono collocate nell'intervallo 52-172 mg/m³, con un livello medio di 106 mg/m³ (Fig. 2). Questi dati indicano che i livelli di presenza e di ampia variabilità del PM₁₀ sono da collegare all'influenza esercitata dal traffico automobilistico. In ogni caso, nel valutare i risultati va ricordato che il monitoraggio del

PM₁₀ è stato effettuato a ridosso dell'arteria stradale nell'intervallo temporale diurno (8.00-20.00) e ciò rende conto dei valori piuttosto elevati. Questi costituiscono un fatto piuttosto generalizzato dei centri urbani: ad esempio, una ricerca condotta nella città di Hong Kong, nell'immediata vicinanza (circa 8 m) di un'importante arteria stradale, ha rilevato concentrazioni di PM₁₀ comprese nell'intervallo 37-214 mg/m³, con un livello medio di 76 mg/m³ (Chan & Kwok, 2001).

ELEMENTI IN TRACCIA NEL PARTICOLATO ATMOSFERICO PM₁₀

Le determinazioni analitiche eseguite sui campioni di PM₁₀ prelevati nei siti urbani e rurale di Siena indicano che gran parte degli elementi chimici dosati (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pd, Pb, Sb, Ru, Ti, Zn) raggiunge le concentrazioni più elevate nel particolato atmosferico della zona ad intenso traffico veicolare di Colonna S. Marco. Alcuni elementi chimici (As, Cd, Pt) si discostano da questo trend generale e mostrano una maggiore concentrazione nel PM₁₀ del sito urbano di Porta Laterina ed in quello rurale di Basciano.

Sulla scorta di quanto appena enunciato, di seguito sono illustrati i dati analitici di alcuni elementi chimici in traccia, selezionati tra quelli di maggior rilievo, particolarmente rappresentativi del fenomeno in studio: il piombo, l'antimonio, i platinoidi, lo zinco, il rame e il cromo.

Piombo. Nell'area urbana di Porta Laterina e in quella rurale di Basciano le concentrazioni di piombo nel PM₁₀ sono risultate piuttosto uniformi e comprese nell'intervallo 18-19 ng/m³

(nanogrammi, cioè miliardesimi di grammo per metro cubo) (Fig. 3). Contenuti di piombo più elevati, compresi nell'intervallo 54-78 ng/m³, sono stati registrati nel particolato atmosferico prelevato nella zona trafficata di Colonna S. Marco (Fig. 3), a conferma di una significativa influenza della circolazione veicolare sulla geochimica del particolato atmosferico.

Si pone l'accento sul fatto che le concentrazioni di piombo misurate nell'area urbana di Siena (siti di Porta Laterina e di Colonna S. Marco) sono significativamente inferiori a quanto rilevato nel particolato atmosferico di alcune città italiane di medio-grandi dimensioni. A Milano, a circa 2 km dal centro della città, la presenza di piombo nel PM₁₀ è risultata in media sui 217 ng/m³ (Marcazzan *et al.*, 2001). Un tenore medio di piombo nel PM₁₀ pari a 64 ng/m³ è stato trovato a Firenze in un sito urbano scarsamente trafficato; la concentrazione media dell'elemento aumenta a 280 ng/m³ in un settore della città interessato da un'intensa circolazione di veicoli (Lucarelli *et al.*, 2000).

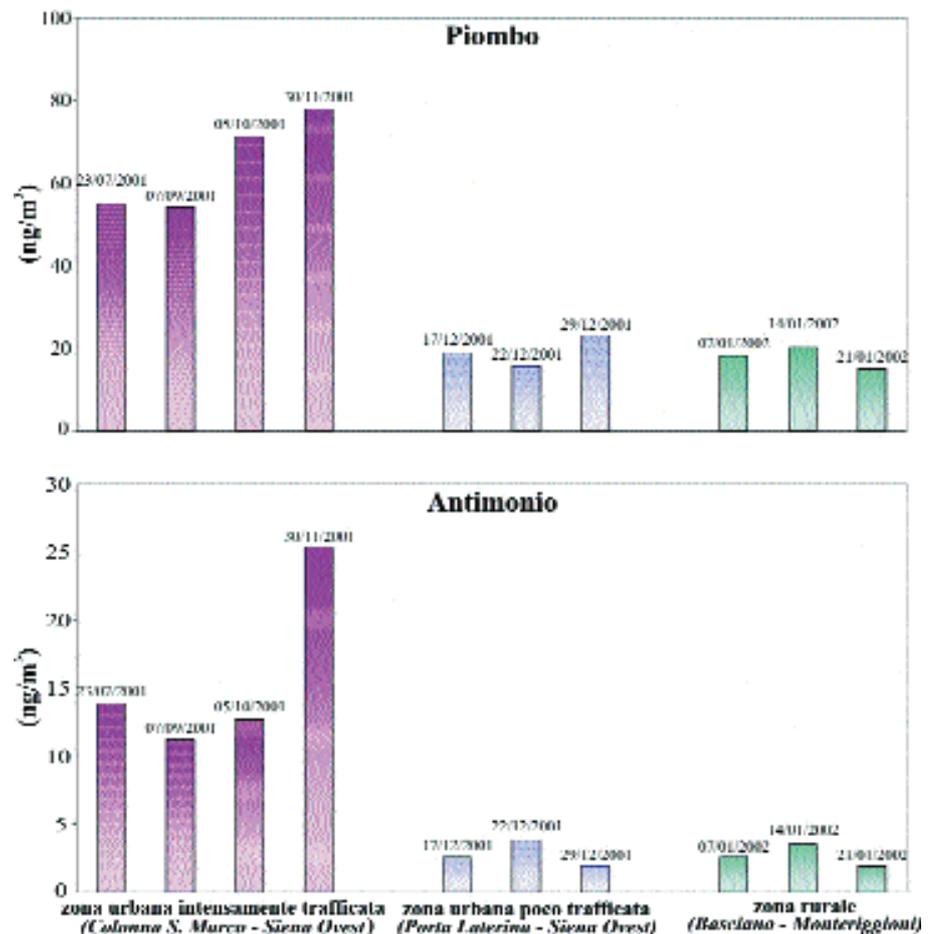


Fig. 3 - Concentrazione di piombo e antimonio nel particolato atmosferico (PM₁₀).

Antimonio. La distribuzione delle concentrazioni di antimonio nel particolato atmosferico PM₁₀ dell'area considerata mostra una tendenza simile a quella descritta per il piombo. Infatti, i livelli più alti dell'elemento (11-25 ng/m³) sono stati misurati nel PM₁₀ raccolto nel settore urbano di Siena ad alto traffico veicolare (sito di Colonna S. Marco). Contenuti di antimonio significativamente inferiori, sui 3 ng/m³ in media, appartengono al PM₁₀ prelevato sia nella zona di Porta Laterina che nell'area rurale di Basciano (Fig. 3).

Il livello medio di antimonio nel PM₁₀ nelle aree urbane ricade usualmente attorno ai 10 ng/m³ con punte prossime ai 100 ng/m³ (Reimann & de Caritat, 1998). In contesti rurali la presenza dell'elemento nel particolato atmosferico decresce su valori intorno a 2 ng/m³ (Priest *et al.*, 1981). A conferma di ciò, nell'area rurale e residenziale di Ispra (Varese) sono state dosate concentrazioni di antimonio nel PM₁₀ di 4.5 ng/m³ in media, mentre nel comprensorio urbano di Milano i contenuti dell'elemento raggiungono livelli medi di 68 ng/m³ (Rizzio *et al.*, 2001).

Platinoidi. Un particolare interesse è stato rivolto agli elementi del gruppo del platino (palladio, platino, rutenio, rodio, iridio) poiché questi rappresentano "nuovi" inquinanti atmosferici rilasciati dall'usura delle marmitte catalitiche.

Come è evidenziato in Fig. 4, i contenuti più elevati di palladio (160-325 pg/m³: picogrammi, cioè milli-miliardesimi di grammo per metro cubo) e di rutenio (46-77 pg/m³) sono stati riscontrati nel PM₁₀ prelevato in prossimità dell'arteria stradale a Colonna S. Marco. Più contenuta, per contro, è l'abbondanza di questi due elementi nel particolato atmosferico inferiore a 10 mm dei siti di Porta Laterina (Pd = 63-70 pg/m³; Ru = 2.9-5.6 pg/m³) e di Basciano (Pd = 56-71 pg/m³; Ru = 4.8-7.6 pg/m³).

Del tutto inattesi sono stati, invece, gli esiti analitici per il platino. Infatti, i contenuti di questo ele-

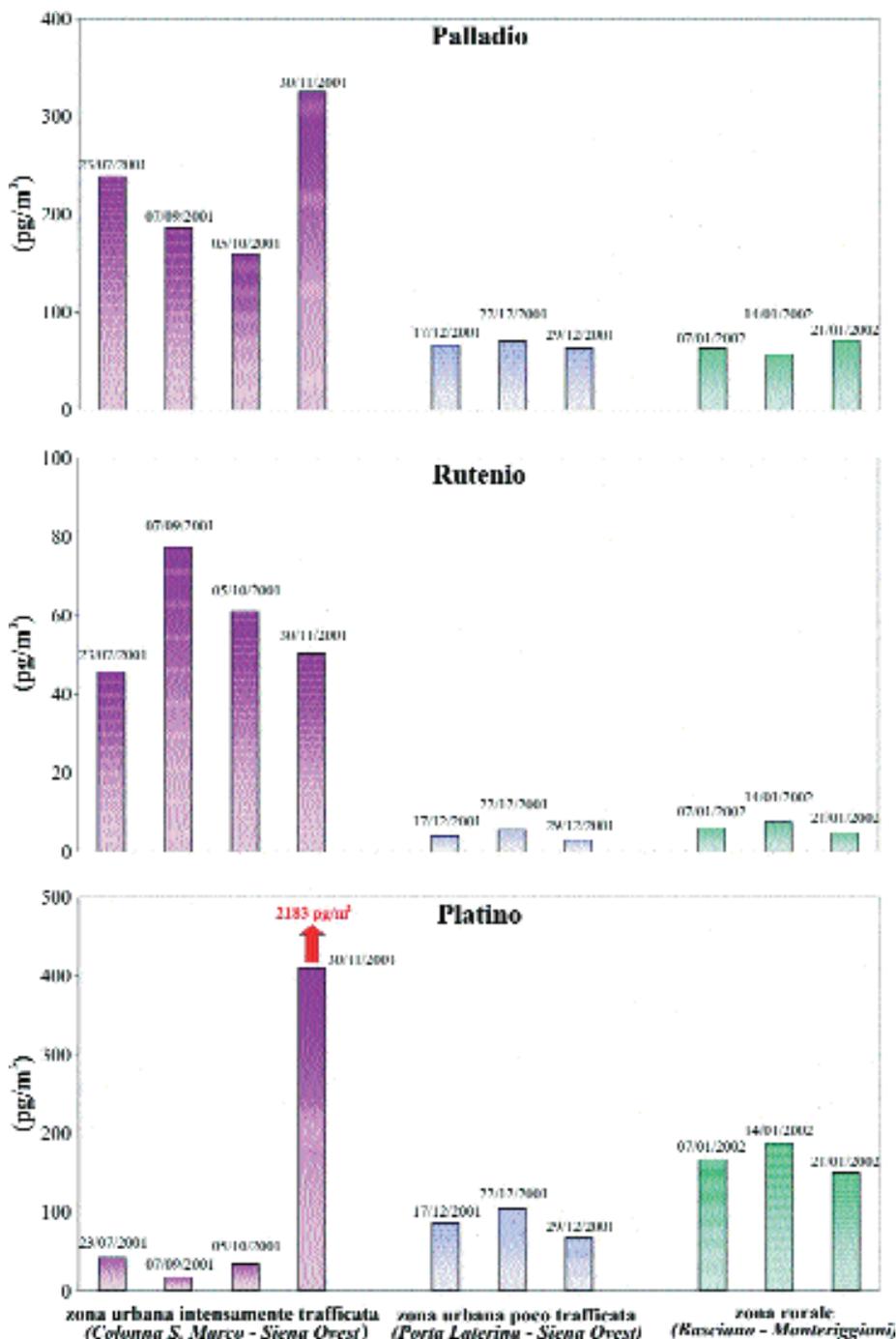


Fig. 4 - Concentrazione di palladio, rutenio e platino nel particolato atmosferico (PM₁₀).

mento nel PM₁₀ a Porta Laterina (82 pg/m³, in media) ed a Basciano (165 pg/m³, in media; Fig. 4) sono risultati più elevati di quelli determinati nel settore urbano ad intenso traffico veicolare di Colonna S. Marco (31 pg/m³, in media). Si tratta, nel complesso, di valori di concentrazione di platino inconsueti se confrontati con i livelli medi dell'elemento nel particolato atmosferico di alcune grandi città europee: Roma - 10.5 pg/m³; Madrid - 15.6 pg/m³; Londra - 5.6 pg/m³; Sheffield - 3.9 pg/m³; Göteborg - 2.3 pg/m³

(Gómez *et al.*, 2002).

Una marcata anomalia di platino (2182 pg/m³) è stata registrata alla fine del mese di novembre nel sito di Colonna S. Marco (Fig. 4). Questa elevata concentrazione coincide con arricchimenti sostenuti anche di altri elementi in traccia (As, Cd, Cu, Sb), a vario grado legati all'azione inquinante della circolazione automobilistica. E' possibile che anche la derivazione geogenica del particolato possa avere nel caso del platino un ruolo importante ed approfondimenti in questo senso sono attualmente in corso.

Non è possibile fare un commento circa il comportamento del rodio e dell'iridio, in quanto i dati analitici ottenuti per questi due elementi sono di solito inferiori al limite di rilevabilità (10 ng/L, cioè miliardesimi di grammo per litro).

Zinco. Lo zinco ha nel particolato atmosferico dell'area esaminata un comportamento simile a quello già descritto per piombo, antimonio ed alcuni platinoidi. Infatti, le concentrazioni più elevate di zinco nel PM₁₀, comprese tra 207 e 251 ng/m³, sono state ottenute a Colonna S. Marco (Fig. 5). Significativamente più bassi sono stati i livelli dell'elemento trovati nel particolato atmosferico del settore a scarso traffico di Porta Laterina (58-71 ng/m³) e di quello di Basciano (40-44 ng/m³).

La possibile origine veicolare dello zinco è ben nota, essendo questo elemento abbondante nella frazione incombusta

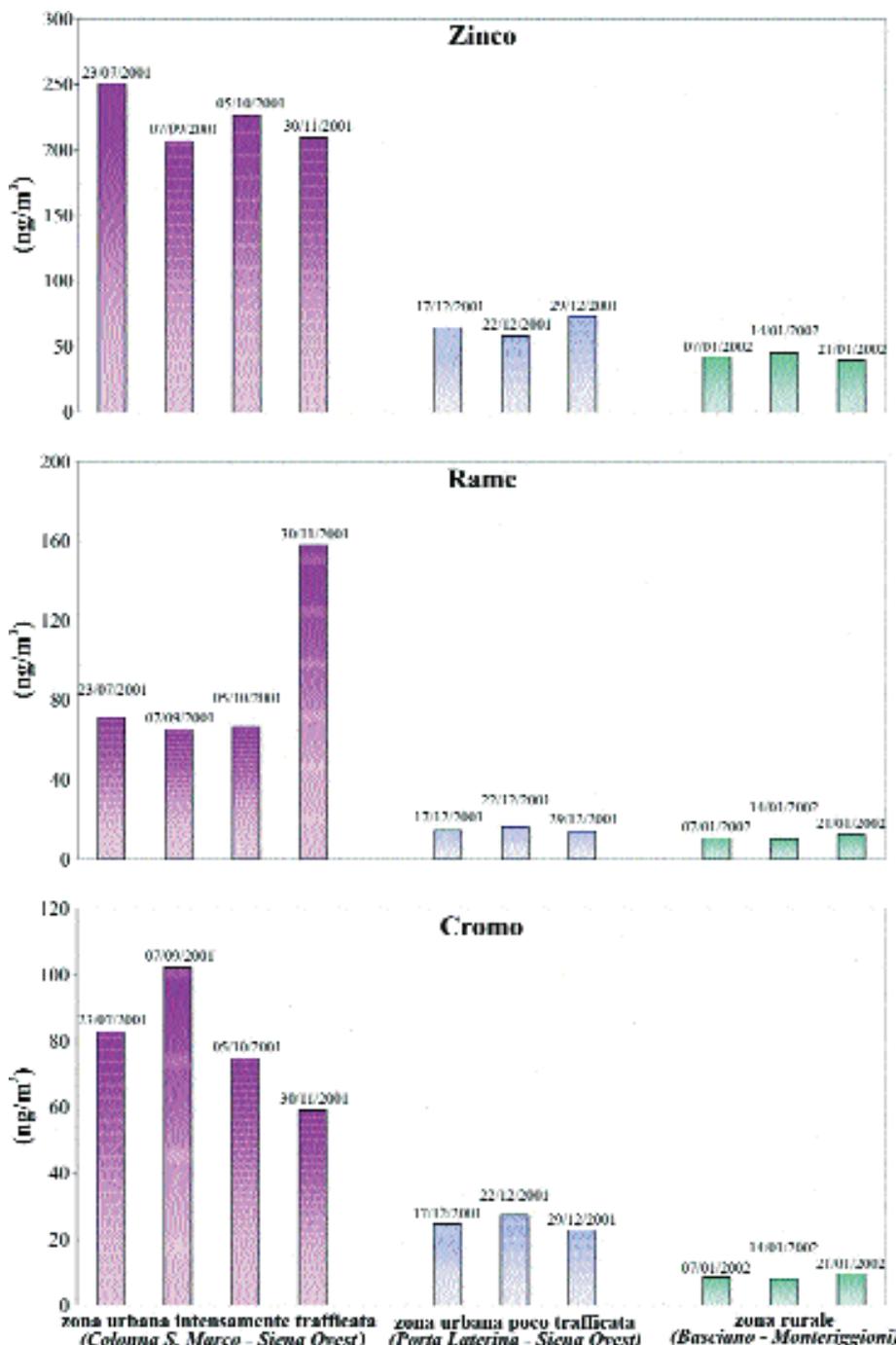


Fig. 5 - Concentrazione di zinco, rame e cromo nel particolato atmosferico (PM₁₀).

dei carburanti, in vari componenti degli autoveicoli e nel battistrada dei pneumatici.

Nel confronto con altre città italiane, livelli di zinco analoghi a quanto rilevato a Colonna S. Marco sono stati registrati nel PM₁₀ della città di Milano (200 ng/m³ in media; Marcazzan *et al.*, 2001). Nel periodo 1997-1998, in un sito trafficato e in uno suburbano residenziale dell'area di Firenze sono stati misurati contenuti di zinco rispettivamente di 80 e di 56 ng/m³ (Lucarelli *et al.*, 2000).

Rame. Il particolato atmosferico prelevato a Colonna S. Marco ha fornito contenuti di rame compresi tra 65 e 158 ng/m³ (90 ng/m³, in media), con un addensamento preferenziale dei valori tra 65 e 71 ng/m³ (Fig. 5). Il rame mostra un'evidente diminuzione dei tenori in aree non trafficate. Infatti, nel sito di Porta Laterina la concentrazione dell'elemento nel PM₁₀ è di circa 15 ng/m³ in media, mentre a Basciano sono stati dosati tenori attorno ad 11 ng/m³.

I valori di rame riscontrati concordano con quanto registrato in altre città italiane: Milano - 185 ng/m³ (Rizzio *et al.*, 2001); Firenze - 90 ng/m³ in un sito trafficato, 16 ng/m³ in un sito non trafficato (Lucarelli *et al.*, 2000); Ispra (in zone rurali e residenziali) - 10.5 ng/m³ (Rizzio *et al.*, 2001).

Cromo. Anche il cromo mostra nel particolato atmosferico PM₁₀ dell'area di Siena un modello di distribuzione simile a quello individuato e descritto per molti altri elementi chimici di interesse. Infatti, i livelli più sostenuti di questo elemento sono stati rilevati nel sito di Colonna S. Marco (Cr = 59-102 ng/m³; Fig. 5). Viceversa, nei settori di Porta Laterina e di Basciano i contenuti di cromo nel PM₁₀ sono costantemente più bassi, collocandosi sui 25 ng/m³.

ELEMENTI IN TRACCIA NELLA POLVERE STRADALE

Come detto in precedenza, la ricerca si è occupata anche dello studio delle polveri stradali raccolte lungo le principali strade della città di Siena, allo scopo di valutare il grado di influenza del traffico veicolare sul livello di arricchimento degli elementi chimici di interesse in tali polveri.

Nei 5 campioni di polvere stradale prelevati, le concentrazioni degli elementi chimici sono risultate generalmente piuttosto omogenee. Questa uniformità è stata riscontrata principalmente a livello dell'arsenico (32-40 mg/kg), del cobalto (4.9-5.4 mg/kg), del manganese (447-523 mg/kg), del nichel (38-53 mg/kg) e del titanio (0.11-0.14 %).

Una dispersione dei valori un po' più ampia caratterizza gli altri elementi in traccia dosati, i quali - non è un caso - sono anche quelli maggiormente correlati al traffico veicolare. Ad esempio, le concentrazioni di piombo ed antimonio oscillano rispettivamente tra 265-416 mg/kg e 18-68 mg/kg. Un comportamento analogo è evidenziato dal rame (370-657 mg/kg) e dallo zinco (289-421 mg/kg), nonché dagli elementi del gruppo del platino (Pt = 50-234 mg/kg; Pd = 211-627 mg/kg; Rh = 27-67 mg/kg; Ru = 11-21 mg/kg; Ir = <0.1-0.8 mg/kg).

Questi dati mettono in risalto un aspetto importante: alcuni elementi in traccia hanno nella polvere stradale contenuti significativamente più elevati di quelli abitualmente presenti in rocce e suoli. Gli esempi più evidenti riguardano l'antimonio, il piombo, il rame e anche, seppure in misura più variabile, i platinoidi.

Sulla scorta di queste indicazioni di carattere generale, le concentrazioni degli elementi in traccia nella polvere stradale del centro urbano di Siena sono state rapportate con i loro contenuti medi nei suoli superficiali presenti nel centro cittadino (Crezzini, 2002). In altre parole, la composizione chimica della polvere stradale è stata confrontata con il fondo geochimico locale, costituito da sedimenti sabbioso-argillosi di epoca pliocenica. L'intento è stato quello di determinare nelle polveri stradali il grado di arricchimento degli elementi in traccia di maggiore interesse, differenziando la componente naturale da quella antropica legata essenzialmente al traffico veicolare. I risultati di questo confronto sono riportati in figura 6, in cui sono resi in forma grafica i fattori di arricchimento (f.a.) di ciascun elemento rispetto al fondo geochimico locale. Antimonio, rame e piombo sono gli elementi più arricchiti nella polvere stradale (f.a. da 17 a 31) rispetto alla loro abbondanza naturale nell'area di Siena. Un aumento più contenuto della concentrazione nella

polvere stradale (f.a. da 2 a 5) è stato evidenziato per arsenico, zinco, palladio e platino. Dalla figura 6 si deduce, inoltre, che gli altri elementi analizzati (Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Ru, Ti) non mostrano nella polvere stradale variazioni significative rispetto al loro *background* naturale locale.

La precedente analisi concorda sostanzialmente con quanto rilevato circa la natura chimica del

particolato atmosferico nell'area di Siena. Infatti, gli elementi chimici più arricchiti nella polvere stradale - e cioè l'antimonio, il rame, il piombo, il palladio e lo zinco - sono quelli maggiormente legati alla circolazione veicolare in quanto immessi nell'ambiente dai processi di combustione dei carburanti, dall'usura e degrado dei pneumatici, dei freni e delle marmitte, oltre che dall'abrasione dell'asfalto. Per altri elementi chimici analizzati - come il cobalto, il cromo, il manganese, il nichel e il titanio - la presenza nella polvere stradale è imputabile essenzialmente ad un apporto naturale fornito dai suoli e dalle rocce.

Testi citati

Artinano B., Querol X., Salvator P., Rodriguez S. & Alonso D.G. (2001) - *Assessment of airborne particulate levels in Spain in relation to the new EU-directive*. Atmospheric Environment, 35, Supplement 1, 43-53.

Chan L.Y. & Kwok W.S. (2001) - *Roadside suspended particulates at heavily trafficked urban sites of Hong Kong. Seasonal variation and dependence on meteorological conditions*. Atmospheric Environment, 35, 3177-3182.

Cheng L., Sandhu H.S., Angle R.P., McDonald K.M. & Myrick R.H. (1998) - *Rural particulate matter in Alberta, Canada*. Atmospheric Environment, 34, 3365-3372.

Crezzini M. (2002) - *Diffusione ambientale di*

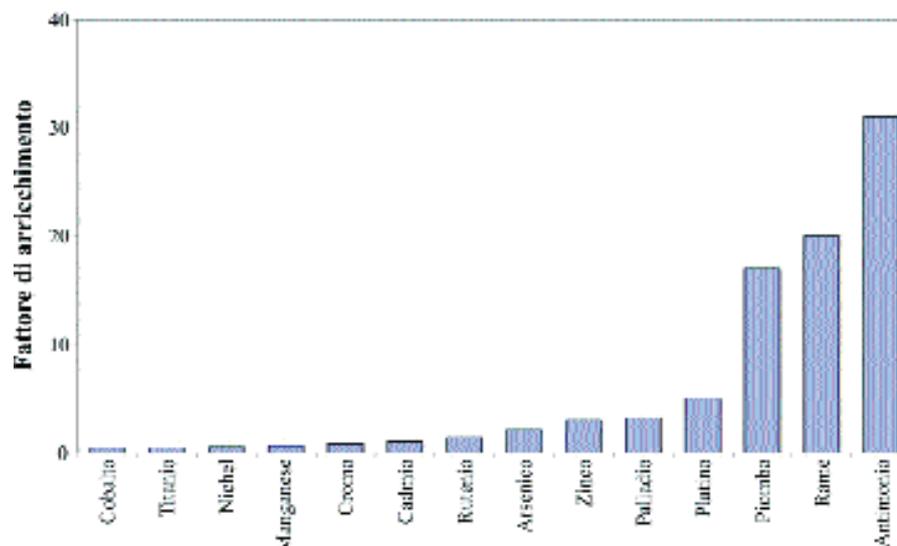


Fig. 6 - Fattore di arricchimento di elementi in traccia nella polvere stradale.

elementi pesanti tossici nell'area urbana di Siena. Tesi di laurea in Scienze Geologiche, Università di Siena.

Fergusson J.E. (1990) - *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, Oxford.

Gamble J.F. & Lewis R. F. (1996) - *Health and respirable particulate (PM₁₀) air pollution: a causal or statistical association?* Environ Health Perspect, 104, 838-850.

Gòmez B., Palacios M.A., Gòmez M., Sanchez J.L., Morrison G.M., Rauch S., McLeod C., Ma R., Caroli S., Alimonti A., Petrucci F., Bocca B., Schramel P., Zischka M., Petterson C. & Wass U. (2002) - *Levels and risk assessment for human and ecosystems of platinum group elements in the airborne particles and road dust of some European cities*. The Science of the Total Environment, 299, 1-19.

Hinds W.C. (1999) - *Aerosol Technology* (2nd Edition). Wiley & Sons, New York.

Hoek G., Forsberg B., Borowska M., Hlawiczka S., Vaskovi E., Welinder H., Branis M., Benes I., Kotesovec F., Hagen L.O., Cyrus J., Jantunen M., Roemer W. & Brunekreef B. (1997) - *Wintertime PM₁₀ and black smoke concentrations across Europe: results from the PEACE study*. Atmospheric Environment, 31, 3609-3622.

Lucarelli F., Mandò P.A., Nava S., Prati P. & Zucchiatti A. (2000) - *Elemental composition of urban aerosol collected in Florence, Italy*. Nuclear Instruments and Methods in Physics

Research, B 161-162, 819-824.

Marcazzan G.M., Vaccaro S., Valli G. & Vecchi R. (2001) - *Characterisation of PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter in the ambient air of Milan (Italy)*. Atmospheric Environment, 35, 4639-4650.

Ostro B. (1995) - *Fine particulate air pollution and mortality in two southern California counties*. Environ. Res., 70, 98-104.

Priest P., Navarre J.L. & Ronneau C. (1981) - *Elemental background concentration in the atmosphere of an industrialised country*. Atmospheric Environment, 15, 1325-1336.

Reimann C. & de Caritat P. (1998) - *Chemical Elements in the Environment*. Springer, Berlin.

Rizzio E., Bergamaschi L., Valcuvia M.G., Profumo A. & Gallorini M. (2001) - *Trace ele-*

ments determinations in lichens and in the airborne particulate matter for the evaluation of the atmospheric pollution in a region of northern Italy. Environment International, 26, 543-549.

Schwartz J. (1994) - *Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis*. Environ. Res., 64, 26-35.

Spurny K.R. (1998) - *On the physics, chemistry and toxicology of ultrafine antropogenic atmospheric aerosols (UAAA): new advances*. Toxicology Letters, 96-7, 253-261.

Sram R.J., Benes L., Binkova B., Dejmek J., Horstman D., Kotesovec F., Otto D., Perrault D.D., Rubes J., Selevan S. G., Skalik L., Stevens R.K. & Lewtas J. (1996) - *Telice programs: the impact of air pollution on human health*. Environ. Health Perspect., 104, 699-714.0

Analisi ottica e idrobiologica del Lago di Montepulciano (Provincia di Siena)

Stefania Mazzuoli, Luca Bracchini, Steven Loiselle, Arduino Massimo Dattilo, Silvia Focardi, Claudio Rossi

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi
Via Aldo Moro, 2 - 53100 Siena

Gli ecosistemi acquatici, come i laghi, costituiscono un'importante risorsa sia per la distribuzione e l'utilizzo dell'acqua sia per fini naturalistici e turistici. La loro conservazione rappresenta una priorità ecologica, economica e culturale significativa non solo a livello locale, ma anche a scala regionale o, addirittura, nazionale. Oggi si parla di utilizzo sostenibile di queste risorse naturali come presupposto indispensabile per la salvaguardia delle stesse nel tempo. L'analisi delle proprietà ottiche e chimico-fisiche di un lago rientrano tra gli strumenti idonei alla sua salvaguardia.

Introduzione

Il Lago di Montepulciano è situato nel comune omonimo e, quindi, nella parte meridionale della provincia di Siena (Val di Chiana), nei pressi del confine con la regione umbra (Fig.1). Esso è all'interno di una zona umida – un complesso palustre con una grande quantità di area coperta da canneto – che, a causa delle innumerevoli bonifiche operate negli ultimi due secoli, è oggi appena conservata. All'interno di questa zona umida è possibile trovare una grande varietà di microambienti, eletti come habitat da numerose specie di uccelli, rettili, anfibi ed invertebrati, tra cui specie in pericolo di estinzione.

Nel 1996, l'area del lago ed il territorio ad esso circostante, per una superficie complessiva di circa 462 ha, sono divenuti Riserva Naturale. Circa il 20% dell'area della riserva è occupato dal lago; del rimanente 80%, 19 ha sono rappresentati da prati umidi, 15 da bosco, 2 da prateria, 118 (25,4% dell'area della riserva) da coltivazioni, che si estendono fino ai confini del lago e delle aree palustri.

I principali fattori di “minaccia” per il lago riguardano l'interramento del bacino,

l'eutrofizzazione e l'eccessiva escursione stagionale del livello dell'acqua. Essi dipendono dalla posizione del lago nel punto più basso della valle, dalla presenza di campi coltivati, dal ciclo delle



Fig. 1 - Lago di Montepulciano. In alto: veduta dalla sponda umbra di Binami. In basso: l'orchidea acquatica *Orchis laxiflora*, presente nel lago.

piogge, dal prelievo delle acque e dall'evaporazione.

Per quanto riguarda l'escursione stagionale del livello idrico si rileva che, essendo a basso fondale, il lago non presenta un termocline ed è soggetto a forti variazioni delle grandezze chimico-fisiche (Wetzel *et al.*, 1991; Scheffer, 1998).

I dati analizzati in questo articolo fanno parte di un progetto di studio approfondito della Riserva Naturale "Lago di Montepulciano" (finanziato dalla Amministrazione Provinciale di Siena) e del progetto FIRB (Fondo per gli Investimenti della Ricerca di Base) intitolato "Elaborazione di un modello di attenuazione della radiazione solare in ecosistemi acquatici integrando misure *in situ* e telerilevate" (finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca).

Metodologie impiegate

Per l'analisi della qualità delle acque del Lago di Montepulciano sono stati monitorati parametri di tipo chimico, fisico e biologico.

I dati di tipo idrologico sono stati raccolti tramite la sonda Hydrolab Datasonde 3 e la stazione idrometeorologica, posizionate entrambe all'interno del lago. La sonda registra dati di pH, ossigeno disciolto, temperatura, conducibilità, salinità, torbidità, con cadenza oraria, mentre la centralina fornisce dati aggiuntivi, che comprendono la radiazione solare ultravioletta (UV) e visibile (PAR), la velocità e la direzione del vento.

In questo articolo saranno discussi i dati riguardanti i parametri più usati per descrivere la qualità delle acque, quali il pH (unità), la temperatura (°C), l'ossigeno disciolto (mg/L) e la clorofilla ($\mu\text{g/L}$) (quest'ultima è stata ottenuta da misure

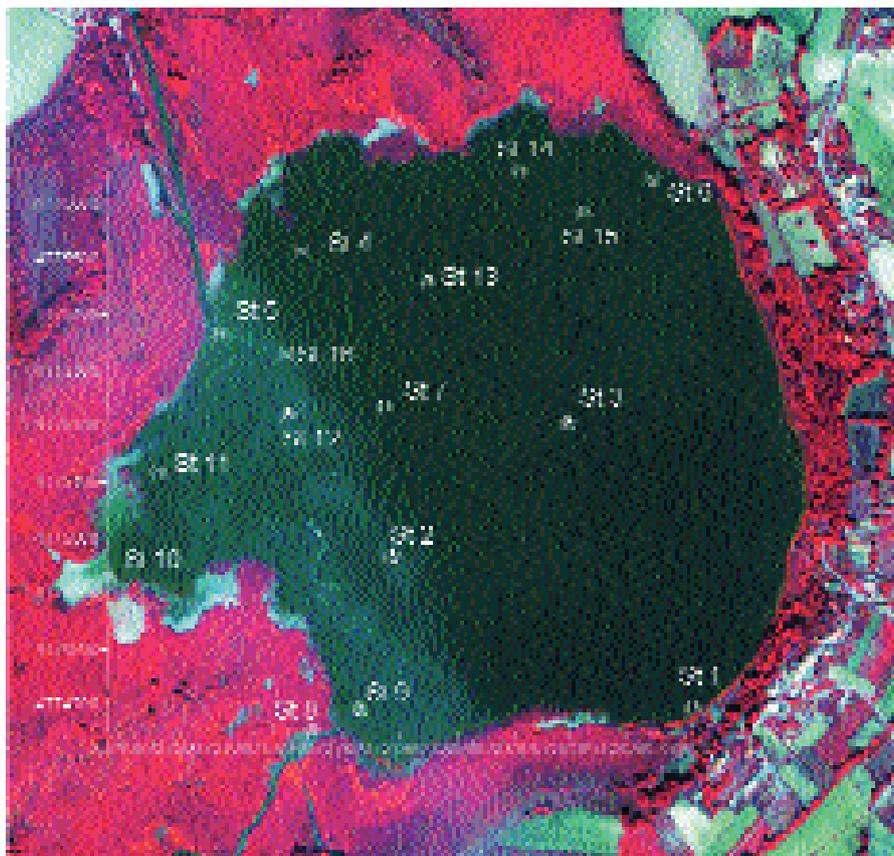


Fig. 2 - Immagine satellitare (Ikonos) del Lago di Montepulciano, con indicate le stazioni di campionamento.

spettrofotometriche condotte in laboratorio, su campioni di acqua prelevati con cadenza mensile).

Le misure di tipo chimico-fisico hanno riguardato il rilevamento dell'irradianza solare all'interno della colonna d'acqua in varie stazioni (Fig. 2).

Per irradianza si intende il flusso radiante proveniente da ogni direzione e incidente su un elemento di area. La radiazione elettromagnetica è una forma di energia che si propaga attraverso lo spazio ad altissima velocità. La propagazione è di tipo ondulatorio e vi si riconoscono un campo elettrico e un campo magnetico che oscillano in fase, ad angolo retto sia fra di loro sia rispetto alla direzione di propagazione. Per descrivere un'onda del genere si usa una serie di parametri tra cui la lunghezza d'onda (λ), che rappresenta la distanza lineare – misurata in nanometri ($\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) – tra due punti equivalenti dell'onda. È usuale studiare la radiazione elettromagnetica in alcune bande dello spettro (ultravioletto e visibile) in relazione all'interesse nell'interagire con la biosfera. La regione spettrale dell'ultravioletto (UV) è compresa in un intervallo di lunghezza d'onda che va da 100 a 400 nm, il visibile (Radiazione

Fotosinteticamente Attiva: PAR) va invece da 400 a 700 nm. La radiazione proveniente dalla regione UV ha un'energia maggiore rispetto a quella proveniente dalla regione del visibile e, per questo motivo, viene indagato il suo propagarsi all'interno della colonna d'acqua.

Le irradianze solari UV (290-400 nm) a specifiche lunghezze d'onda (305, 313, 230 e 340 nm) sono state misurate tramite uno spettroradiometro PUV541, munito inoltre di un sensore di PAR, cioè di radiazione inclusa nello spettro solare del visibile. Le misure ottenute sono state utilizzate per studiare l'andamento dell'intensità della radiazione solare con la profondità (profili di irradianza). Ciò che si osserva, usualmente, è la tendenza dell'irradianza a diminuire progressivamente con la profondità ed il parametro fondamentale che determina la penetrazione della radiazione è detto coefficiente di attenuazione ($K_{d,\lambda}$, m^{-1}) e varia in funzione della lunghezza d'onda. Tale parametro è utile per descrivere sinteticamente ciò che è presente nell'acqua e che determina un'attenuazione della radiazione solare. In generale, le lunghezze d'onda 305, 313, 320 nm e, in misura minore, 340 nm sono sensibili alla materia organica disciolta (DOM, derivante dalla degradazione della materia organica non vivente sia interna al lago che proveniente dalle zone circostanti), mentre le lunghezze d'onda PAR sono sensibili alla matrice sospesa (in particolare fitoplancton, ma anche sedimenti e materia organica non disciolta).

È possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche ottiche dell'ecosistema acquatico in studio anche attraverso la registrazione dell'estinzione (grandezza adimensionale) dei campioni d'acqua prelevati durante le campagne di misura e filtrati a $0.22 \mu m$ (frazione disciolta) e non filtrati (frazione totale). Poiché l'estinzione consente di descrivere i fenomeni di assorbimento di radiazioni elettromagnetiche da parte delle sostanze presenti nel campione, siano esse disciolte o in sospensione, ne segue che, attraverso la semplice sottrazione dell'estinzione della frazione disciolta da quella totale, è possibile stimare l'estinzione della frazione sospesa (frazione maggiore di $0.22 \mu m$). Tramite semplici relazioni matematiche è possibile ricavare, dalle misure eseguite in laboratorio, il coefficiente di estinzione per la materia disciolta in funzione della lunghezza d'onda (A_{λ} , m^{-1}). A sua

volta questo coefficiente può essere usato per confrontare l'estinzione del campione filtrato per una data stazione con l'attenuazione totale misurata in campo. Ciò consente di separare il contributo all'attenuazione totale ($K_{d,\lambda}$) delle componenti sospese (coefficiente di attenuazione delle componenti sospese, $K_{p,\lambda}$) e disciolte (A_{λ}).

Per valutare l'importanza delle due frazioni, al variare della lunghezza d'onda, nel determinare l'attenuazione è utile calcolare il rapporto tra il coefficiente di attenuazione delle componenti sospese e il coefficiente di attenuazione totale, che si può considerare come la frazione percentuale di $K_{d,\lambda}$ non imputabile all'effetto delle sostanze disciolte.

Nell'analisi della zona della Riserva Naturale, la tecnologia del *Remote Sensing* è stata un utile mezzo nel valutare i fattori del territorio che influiscono sulla qualità dell'acqua immessa nel lago. Nel corso di un biennio è stata seguita la variazione areale (ha) del lago, in relazione alle variazioni stagionali ed annuali. L'utilizzo di dispositivi di misura della radiazione ad alta risoluzione posti sui satelliti ha permesso di indagare l'estensione della zona di canneto che circonda il lago durante la stagione di massima crescita vegetale. Attraverso la combinazione di dati derivanti da misurazioni *in situ* e di dati satellitari, è stato possibile ottenere una misura della distribuzione spaziale della qualità dell'acqua nel lago.

A questo scopo sono state utilizzate sia immagini satellitari storiche sia immagini attuali della Riserva Lago di Montepulciano provenienti da sensori satellitari con diversa risoluzione spettrale e spaziale. La risoluzione spaziale si riferisce alla dimensione dell'area sulla Terra che è sintetizzata da uno dei valori dei dati nell'immagine. La risoluzione spettrale si riferisce al numero ed all'ampiezza delle bande dello spettro elettromagnetico che il sensore di satellite registra. In particolare, sono state utilizzate immagini registrate dai satelliti Landsat 5 e 7, Ikonos e Quickbird.

Analisi dei dati e discussioni

I dati, ricavati dalle misure eseguite *in situ*, in laboratorio e tramite telerilevamento,

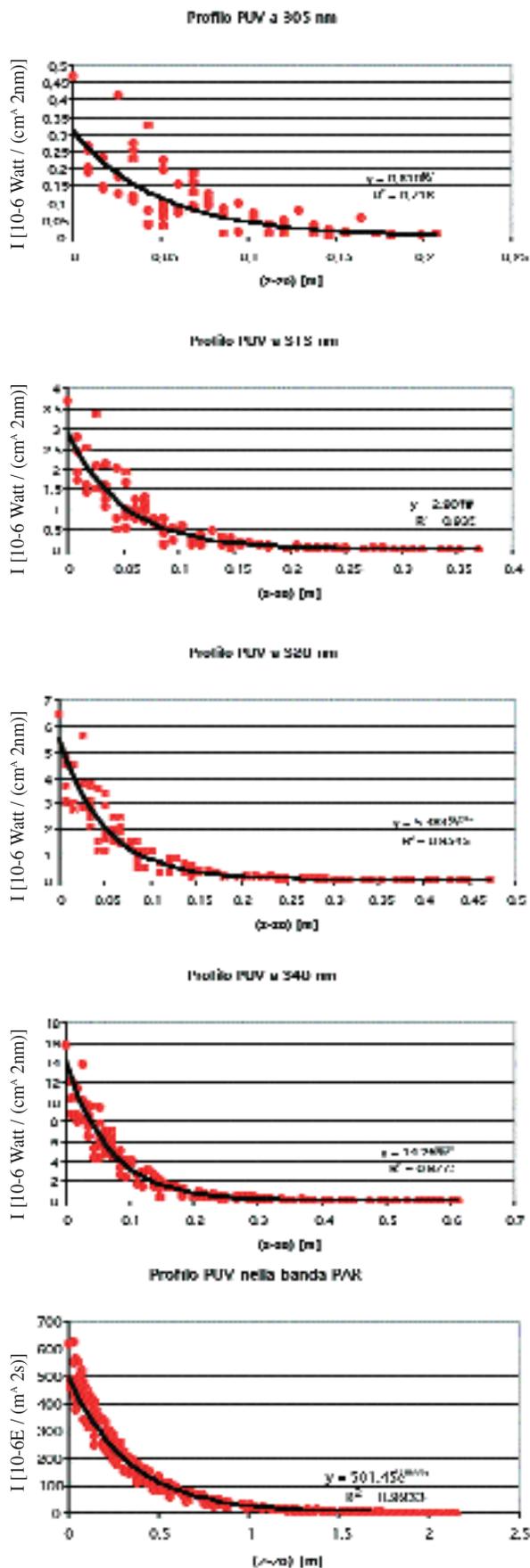


Fig. 3 - Stazione numero 3. Rilevamento del 6 Giugno 2002. Profilo allo spettroradiometro della radiazione solare nelle bande UV (a 305, 313, 320 e 340 nm) e PAR (400-700 nm). Tutti i grafici mostrano che nel sito in esame il coefficiente di attenuazione ($K_{d;\lambda}$) diminuisce con l'aumentare della lunghezza d'onda.

sono trattati in relazione alla loro diversa tipologia:

- analisi dei dati di tipo ottico,
- analisi dei dati di tipo idrologico,
- analisi dei dati di tipo satellitare.

Analisi dei dati di tipo ottico

In figura 3 sono riportati i grafici, che rappresentano i dati relativi ai profili di radiazione, per il sito di campionamento numero 3. In ciascun grafico, la curva nera si riferisce al profilo la cui espressione matematica è rappresentata direttamente in figura. In particolare, l'esponente rappresenta il coefficiente di attenuazione della radiazione $K_{d;\lambda}$ alla lunghezza d'onda associata e la costante moltiplicativa rappresenta l'irradianza alla lunghezza d'onda λ appena sotto la superficie dell'acqua. Come è possibile osservare dalla curva riportata in ogni grafico, il coefficiente di attenuazione, per il sito in esame, diminuisce con l'aumentare della lunghezza d'onda. Questo significa che la capacità di attenuare la radiazione solare è fortemente influenzata dalle componenti, in forma disciolta e sospesa, presenti all'interno del lago. Queste agiscono in differenti regioni spettrali e con entità che dipendono dalla loro natura e concentrazione. Lo studio della variabilità sito per sito dei valori dei coefficienti di attenuazione permette, quindi, di ipotizzare una variazione delle caratteristiche fisiche e chimiche delle acque all'interno degli stessi siti.

I valori dei coefficienti di attenuazione, sia UV che PAR, in questo lago sono sorprendentemente alti, se confrontati con i dati di altri laghi interni, che si possono reperire in letteratura (Morris *et al.*, 1997; Bracchini *et al.*, 2001). Questo dipende dalle alte concentrazioni di materia disciolta di forma organica, in particolare per la radiazione UV a bassa lunghezza d'onda (Kirk, 1994; Huovinen *et al.*, 2003) e dalla materia organica (fitoplancton) e inorganica in sospensione, per il PAR (Buhlmann *et al.*, 1987).

I coefficienti di attenuazione possono essere rappresentati in mappe (Fig. 4 a-e) per consentire una visualizzazione delle differenze spaziali del

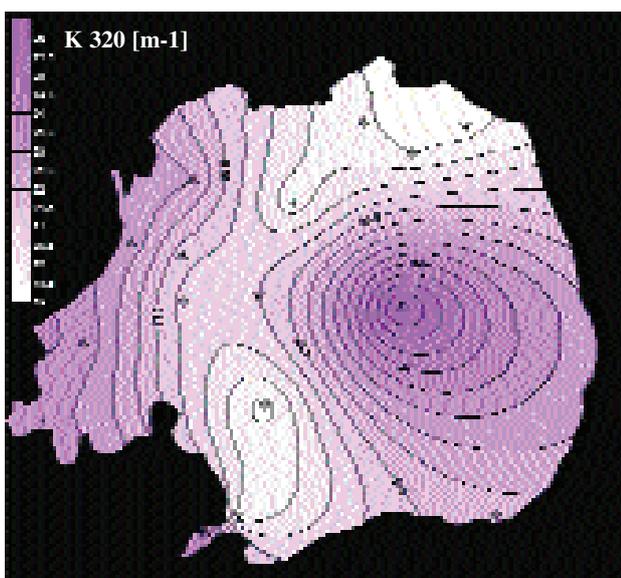
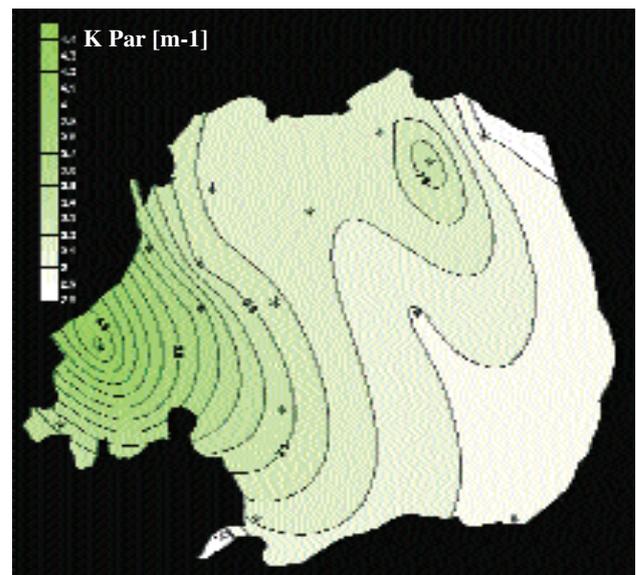
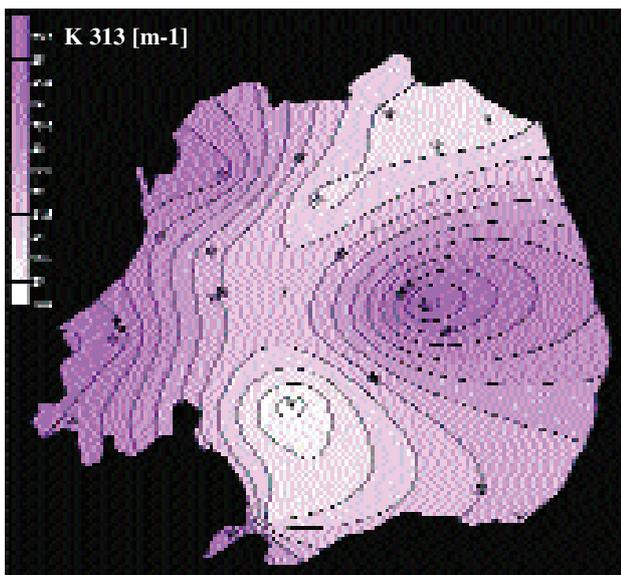
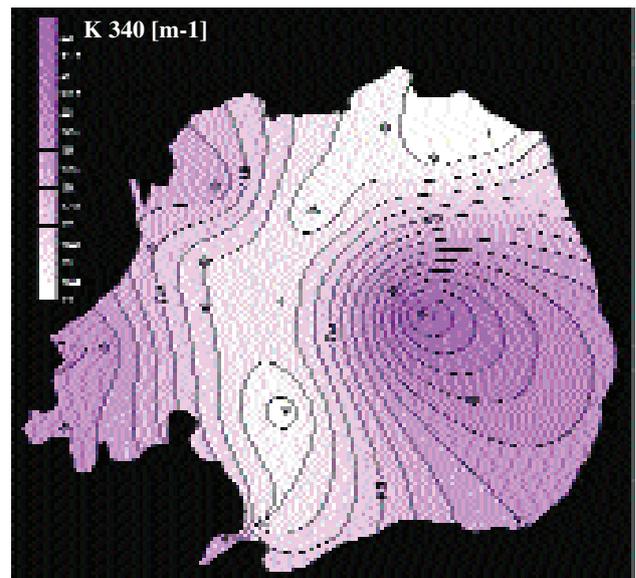
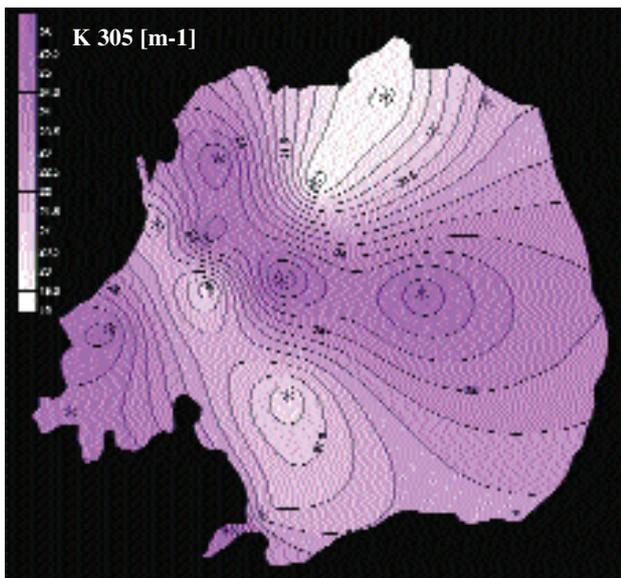


Fig. 4 - Rappresentazione in mappe dei valori dei coefficienti di attenuazione a 305, 313, 320 e 340 nm e PAR.

lago, individuando le zone nelle quali l'attenuazione della radiazione solare sarà maggiormente determinata dalla componente disciolta o da quella in sospensione.

La valutazione dei contributi all'estinzione totale, in campo e in laboratorio, della componente disciolta e di quella sospesa è effettuata tramite i valori percentuali, ottenuti come media sulle stazioni di misura (Fig. 5). Da tale analisi è possibile apprezzare l'importanza fondamentale della materia disciolta a 305, 313 e 320 nm, mentre a 340 nm comincia ad essere importante anche il contributo della materia sospesa (fitoplancton e materia inorganica).

L'analisi spettrale, tramite spettrofotometro UV-VIS, sui campioni di acqua non filtrati e fil-

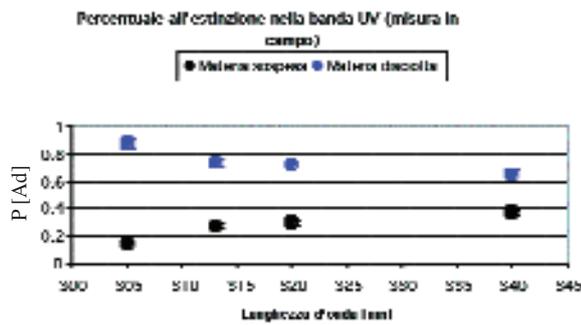


Fig. 5 - Estinzione percentuale della matrice disciolta (blu) e della matrice sospesa (nera) misurata con tecniche di campo e di laboratorio. I valori sono quelli medi, calcolati in base alle stazioni.

trati a $0.22 \mu\text{m}$ permette di valutare l'importanza della matrice disciolta e di quella sospesa da 260 a 700 nm.

I grafici in figura 6 dimostrano che in questo lago l'attenuazione della radiazione elettromagnetica, come già accennato, dipende, alle piccole lunghezze d'onda (UVB), dalla materia disciolta, mentre da 320 nm in poi diviene preponderante l'effetto della materia in sospensione.

Nella banda visibile (400-700 nm) i solidi in sospensione, tra cui il fitoplancton, determinano il 90% dell'estinzione. Nella banda UV l'estinzione della radiazione non è altresì trascurabile a causa della materia sospesa tra cui il fitoplancton (Leech *et al.*, 2001). Le sostanze disciolte e in sospensione, cambiando la loro concentrazione da stazione a stazione, determinano differenti forme funzionali degli spettri di estinzione percentuali; in particolare si può osservare che il punto di intersezione tra le due curve è spostato verso le basse lunghezze d'onda, sintomo del grande contributo della materia sospesa.

Analisi dei dati di tipo idrologico

L'andamento stagionale della temperatura è indicato nella figura 7 (il campionamento è stato effettuato a 30 cm al di sotto della superficie dell'acqua), dove viene riportata anche la curva che descrive maggiormente l'andamento dei dati sperimentali.

Data l'assenza di un termocline apprezzabile, la temperatura misurata rappresenta quella di tutta la colonna d'acqua. I dati riportati ricoprono un periodo che va dal 17/11/2000 al 5/9/2002. Da questi è possibile evidenziare una variazione sta-

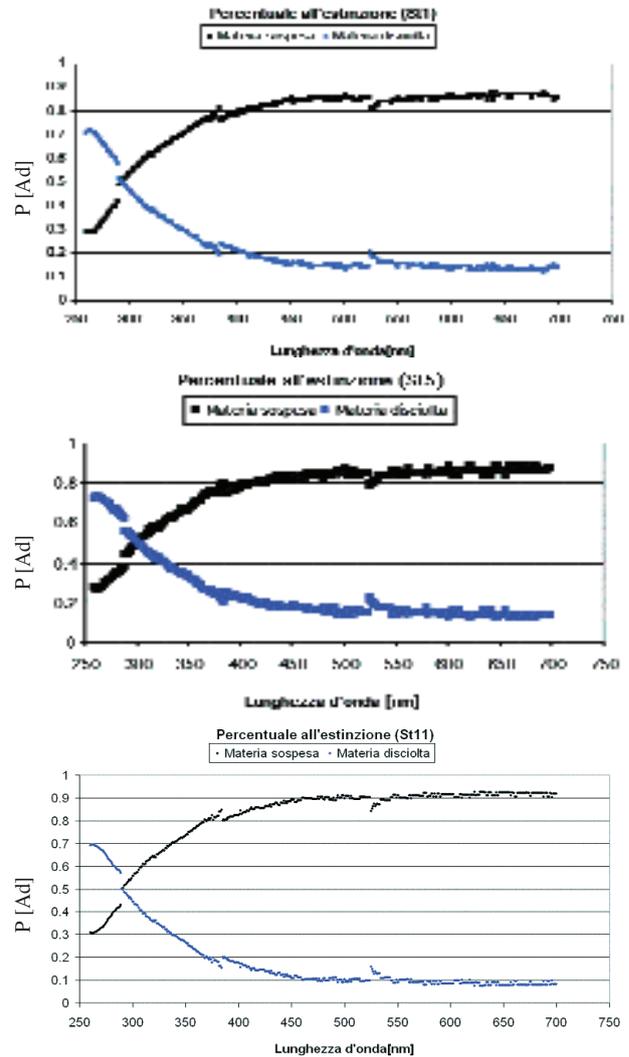


Fig. 6 - Estinzione percentuale della matrice disciolta (blu) e di quella sospesa (nero).

gionale molto spiccata: un primo minimo medio di valore circa 7°C ad inizio gennaio 2001 ed un massimo medio di circa 24°C alla fine di giugno dello stesso anno. Un secondo minimo medio di valore circa 8°C ad inizio febbraio 2002 ed un

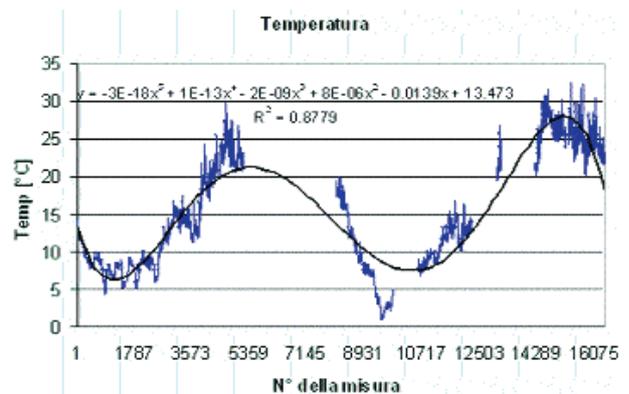


Fig. 7 - Andamento stagionale della temperatura. La curva in nero rappresenta il miglior polinomio che approssima i dati sperimentali. I due minimi (circa 7°C e 8°C) e i due massimi (circa 24°C e 28°C) si riferiscono agli inverni e alle estati del 2001 e del 2002.

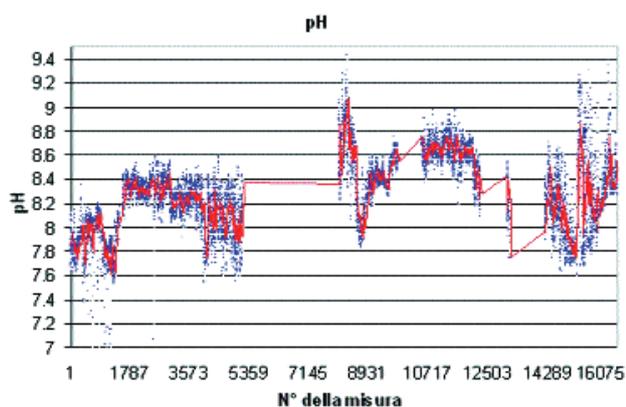


Fig. 8 - Andamento della serie del pH. La curva rossa rappresenta la media mobile mensile (i tratti rettilinei non rappresentano dati reali). Sono stati registrati valori di 7,7-8,4 unità nel 2000-2001 e di 7,8-9,1 unità nel 2001-2002.

secondo massimo di valore circa 28°C registrato verso metà luglio (4°C in più rispetto allo stesso periodo del 2001).

La relativa piccola portata del lago determina scostamenti significativi dall'andamento medio nei mesi invernali; questo allontanamento può dipendere dalle piogge o dal perdurare nel tempo di vento freddo (tramontana). Inoltre, nel caso del secondo minimo (febbraio 2002), l'abbassamento della temperatura atmosferica ha causato il congelamento della superficie del lago per circa 20 giorni. Nei mesi primaverili (dal N° della misura 4153 in poi), le variazioni sono maggiormente accentuate e vanno verso valori più alti.

Evidenti sono anche le oscillazioni intorno al valore medio delle temperature nel periodo estivo 2002. Tutto questo potrebbe essere legato a fenomeni di riscaldamento di breve durata, dovuti alla diminuzione del livello idrico. Questi distacchi dai valori medi suggeriscono l'idea che l'ecosistema, in termini di temperatura, possa essere facilmente influenzato da eventuali fattori esterni che agiscono su tale parametro.

La variazione della temperatura, oltre che influire su tutte le reazioni chimiche dei comparti abiotico e biotico a livello microscopico, può indurre effetti sulla scala degli organismi e delle popolazioni influenzandone lo sviluppo e la dinamica nel tempo.

La serie di dati ottenuta dal pH (campionato a 30 cm dalla superficie) è rappresentata dal grafico in figura 8. In rosso viene rappresentato l'andamento medio ottenuto tramite media mobile mensile (i tratti rettilinei non rappresentano i dati

reali). Il lago presenta caratteristiche basiche con valori di pH medio che oscillano tra 7,7 e 8,4 unità nella prima serie di dati (novembre 2000 – giugno 2001) e tra 7,8 e 9,1 unità nella seconda (ottobre 2001 – settembre 2002). In particolare si osserva una dispersione maggiore delle misure attorno al valore medio nell'ultima parte della prima serie (giugno 2001) e della seconda serie (agosto – settembre 2002), in corrispondenza della quale si osservano i valori massimi della temperatura.

Questo fa ipotizzare che ai massimi valori di temperatura corrisponda la massima attività biochimica denotata da oscillazioni orarie del pH. Nei casi in cui si osserva una fluttuazione verso valori bassi di pH (durante la fine di dicembre: minimo per il N° della misura a circa 1300) è correlato con fenomeni di intensa precipitazione che determinano un abbassamento del valore del pH delle acque. Anche in questo caso è possibile osservare un'alta variabilità del parametro misurato. Il lago può risentire di eventuali fattori naturali esterni e non (le piogge, ad esempio, possono costituire una causa naturale alla modificazione del pH, ma queste ultime non possono essere considerate un fenomeno naturale quando, nel dilavare l'atmosfera divengono acide, a causa di agenti chimici non naturali, in genere ossidi di zolfo carbonio o azoto generati da attività antropiche).

Le misure di clorofilla α ci forniscono l'andamento di figura 9. I dati confermano che il lago ha una forte presenza di fitoplancton; pertanto esso entra nella fascia che comunemente viene detta iper-eutrofica, in accordo con gli alti valori di attenuazione misurati (Bothwell *et al.*, 1994). Dall'analisi delle misure si nota che il minimo di concentrazione di clorofilla α si osserva nell'inter-

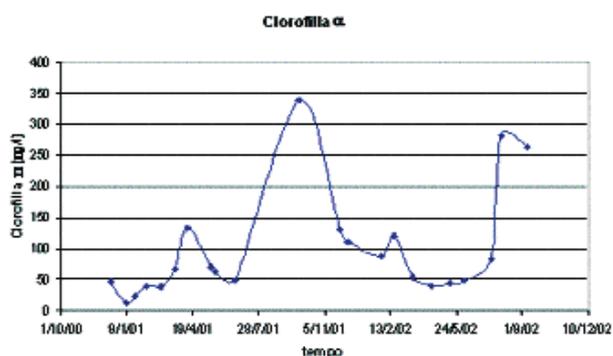


Fig. 9 - Misura della clorofilla tramite filtrazione di campioni di acqua effettuata in laboratorio. Vi è una forte produzione primaria durante l'estate.

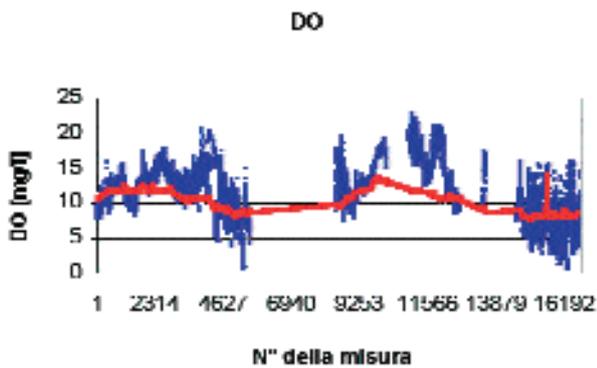


Fig. 10 - Andamento dell'ossigeno disciolto. La curva in rosso rappresenta i valori corrispondenti alla saturazione.

vallo dicembre 2000-gennaio 2001, quando presumibilmente sono minime sia la radiazione solare visibile in ingresso che la concentrazione dei nutrienti. In seguito si ha un primo massimo di concentrazione di clorofilla α in primavera, per poi ottenere un'esplosione di concentrazione (circa 350 $\mu\text{g/L}$) a fine estate ed inizio autunno 2001. Anche l'anno seguente, nel periodo agosto-settembre 2002, si ripete un massimo di concentrazione (quasi 300 $\mu\text{g/L}$).

L'andamento dell'ossigeno disciolto all'interno delle acque misurato a 30 cm è riportato in figura 10. Questo parametro, che indica l'attività del complesso vegetale, è intimamente legato al contenuto di clorofilla α . Nelle ore diurne il fitoplancton produce ossigeno consumando anidride carbonica. I processi di respirazione e decomposizione dello zooplancton, dei pesci e dei batteri consumano l'ossigeno prodotto dal comparto vegetale.

La curva rappresentata in figura 10 si riferisce alla saturazione dello stesso composto, calcolata secondo il modello di Hitchmann (1978). Questo modello prevede la dipendenza decrescente del valore di saturazione in funzione dell'aumento della temperatura dell'acqua. I valori medi e istantanei (in blu) che si trovano al di sopra della curva rossa eccedono il livello di saturazione e vengono detti sovrasaturi.

È possibile notare una grande maggioranza di valori al di sopra della saturazione. Questo implica una forte produttività vegetale all'interno del lago che si traduce in una grande quantità di clorofilla. La produzione fitoplanctonica e la sua attività fotosintetica dipendono, oltre che dalla radiazione solare, anche dai nutrienti (composti chimici del fosforo e dell'azoto) che sono disponibili all'inter-

no delle acque (Neale, 2001). Le ipotizzabili alte concentrazioni di nutrienti si possono tradurre in un'alta produttività vegetale primaria e, conseguentemente, in un'alta produzione di ossigeno. Nei mesi di dicembre 2000 e gennaio-febbraio 2001 si osserva un'oscillazione dell'ossigeno disciolto in accordo sia con la serie relativa al pH sia con quella relativa alla conducibilità, che qui non viene riportata. In questa situazione si può ipotizzare una diminuzione della concentrazione di nutrienti causata dalle piogge che, in stretta relazione con la bassa irradianza solare, determinano valori di ossigeno disciolto più bassi della saturazione. Valori di ossigeno disciolto costantemente superiori alla saturazione sono osservati per circa 4 mesi (dalla fine di febbraio a maggio), con due massimi ben pronunciati agli inizi di marzo e nei primi giorni di maggio. Nel mese di giugno i valori di ossigeno disciolto si riportano attorno a quelli propri della saturazione. Anche in questo caso, come per il pH, si osserva una dispersione maggiore dei valori istantanei attorno ai valori medi nella seconda metà della serie. Questa eventualità conferma una maggiore attività biologica complessiva del lago. Durante l'inverno 2002 i valori di ossigeno si mantengono costantemente al di sopra della saturazione, mentre durante l'estate dello stesso anno si osserva una forte fluttuazione dei dati attorno ai valori di saturazione. L'oscillazione registrata nell'estate 2002 può dipendere da un'alta attività respiratoria del lago. Talvolta si sono verificate crisi anossiche. A questo proposito si deve sottolineare che tali fenomeni possono ripetersi nel tempo con entità differenti. Infatti, a causa del basso livello delle acque, dell'alta temperatura e della sua escursione giornaliera e delle alte concentrazioni di organismi aerobici (occupanti vari livelli trofici dovuti alla concentrazione di nutrienti di origine antropica e naturale), nei giorni 25-26 agosto 2003, dopo mesi di siccità, è stato osservato un fenomeno anossico che ha portato alla moria di grandi quantità di pesci. Tale fenomeno costituisce la risposta naturale (*feedback*) ad una condizione di stress ambientale del lago, il quale successivamente tende a ripristinare le condizioni favorevoli agli organismi sopravvissuti.

In figura 11 si riporta l'andamento dell'ossige-

no disciolto nelle settimane successive alla moria di pesci (serie di misure dal 26 settembre al 14 ottobre 2003). Come è possibile osservare, di giorno l'ossigeno disciolto tende ad assumere valori superiori alla saturazione (curva rossa), mentre, soprattutto nelle ore serali, la sua concentrazione assume valori molto al di sotto della saturazione.

In figura 12 si riportano alcuni andamenti giornalieri di ossigeno disciolto con la relativa curva di saturazione. I giorni in cui l'ossigeno disciolto risulta, per quasi tutto l'arco delle 24 ore, al di sotto della soglia di saturazione sono l'8 e il 9 ottobre 2003.

Analisi dei dati di tipo satellitare

Per ogni immagine è stato misurato un valore

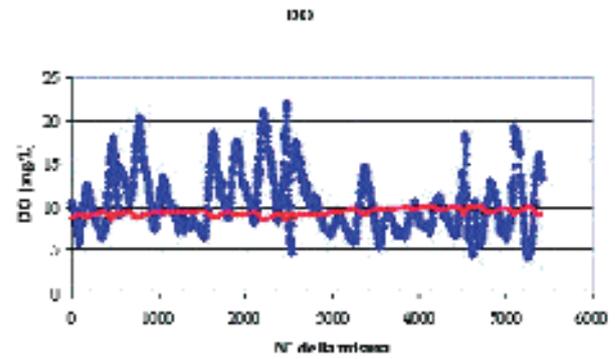


Fig. 11 - Andamento dell'ossigeno disciolto. La curva in rosso rappresenta i valori corrispondenti alla saturazione.

di “estensione massima” ed uno di “estensione minima” della superficie del lago. L'analisi dimostra una forte variazione stagionale della superficie del lago, con una riduzione del 15% in un arco di tempo di 6 mesi. Tale variazione dipende dalle condizioni meteorologiche e dal rapporto fra l'ingresso di acqua dei due principali canali e

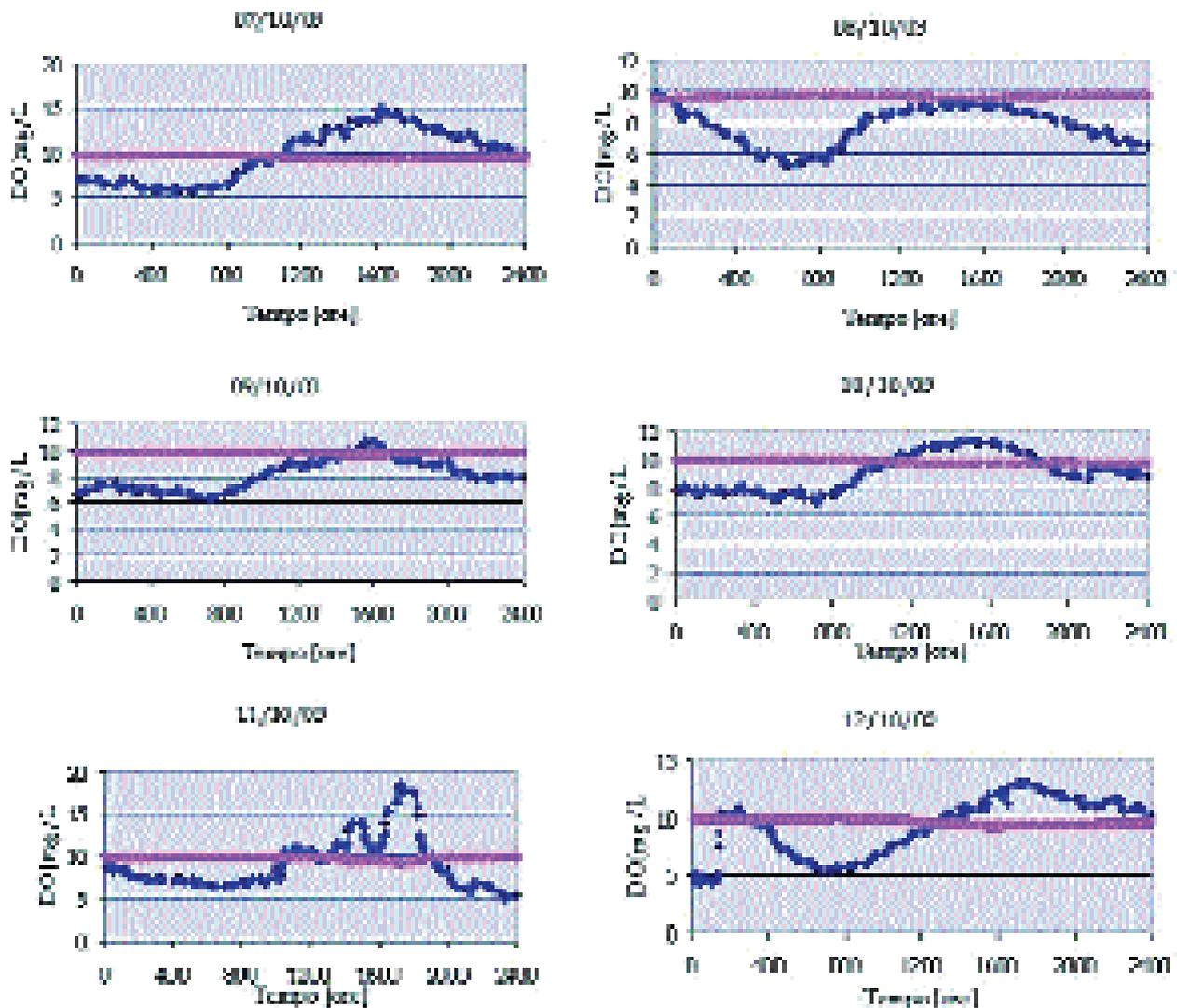


Fig. 12 - Andamenti giornalieri per l'ossigeno disciolto. La curva color fucsia rappresenta il modello di saturazione.

l'uscita del Canale Maestro. Il livello della briglia mobile attualmente presente su quest'ultimo risulta fondamentale nel mantenimento di un'area minima (e quindi di un livello minimo) dello specchio d'acqua. Per ridurre tali variazioni e gli impatti ecologici relativi (riduzione dell'habitat acquatico, abbassamento del livello idrico nelle zone paludose, essiccamento dell'ecotono fra l'acqua "aperta" e il canneto, cioè della zona di transizione fra due diverse biocenosi, la cui importanza è dovuta al fatto che in tale zona, generalmente, si ha una maggiore biodiversità che nelle biocenosi che separa, ecc.), sarà necessario che il livello minimo della briglia sia posizionato più in alto di quanto esso sia attualmente.

L'ecosistema palustre del Lago di Montepulciano rappresenta un habitat fondamentale per le numerose specie di avifauna che lo popolano per tutto l'anno. Per analizzare la superficie del canneto attualmente disponibile è stata svolta un'analisi di tipo satellitare ad alta risoluzione proveniente dal sistema Quickbird, i cui sensori misurano la radiazione elettromagnetica visibile ed infrarossa. L'analisi è stata svolta tramite modelli matematici che sfruttano le caratteristiche riflettenti ed assorbenti della vegetazione palustre in relazione alla radiazione solare. L'area del lago maggiormente interessata da vegetazione riflette fortemente nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso pari a 700– 1200 nm, mentre assorbe a circa 480 nm. Durante il periodo di crescita, quando vi è maggiore concentrazione di clorofilla, la vegetazione riflette fortemente alla lunghezza d'onda di circa 550 nm (visibile, verde) e assorbe per lunghezze d'onda comprese fra 600 e 650 nm.

Il campionamento e la risposta spettrale delle differenti aree del canneto sono state convertite in immagini ad alta risoluzione. Confrontando poi le caratteristiche spettrali fra le diverse tipologie di canneto e quelle dell'acqua "aperta" e della vegetazione non palustre, è stato possibile separare le aree a canneto e determinarne la superficie nel mese di giugno 2002.

Le aree della riserva in cui il canneto è dominante sono divisibili in due tipologie: la prima (verde), con canneto più fitto e minore presenza d'acqua, occupa un totale di 65 ha; la seconda (marrone), con più elevata quantità di acqua, occu-

pa un totale di 35 ha. La restante superficie di acqua "aperta" (blu) è valutabile in circa 74 ha.

Nella figura 13 è osservabile l'estensione geografica del canneto nell'anno 2001-2002, prima del completamento del lavoro di dragaggio promosso dalla Provincia. Sarà utile, ai fini del monitoraggio a lungo termine e della gestione del lago (post-dragaggio), svolgere una simile analisi per verificare gli effetti sull'estensione del canneto in seguito alla rimozione del sedimento lacustre.

La gestione della qualità dell'acqua del Lago di Montepulciano ha importanza ecologica, economica e ambientale. In ogni caso, la variazione temporale e spaziale di tale qualità costituisce una caratteristica importante che determina la vita e lo sviluppo della fauna e della flora locali. Per migliorare la conoscenza della distribuzione spaziale della qualità dell'acqua sono state analizzate due immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite in corrispondenza di una serie di misure in campo. L'integrazione di queste ultime con le misure di riflettanza solare, ottenute mediante sensori satellitari ad alta risoluzione, permette di determinare la distribuzione spaziale di alcune caratteristiche importanti per l'ecosistema acquati-

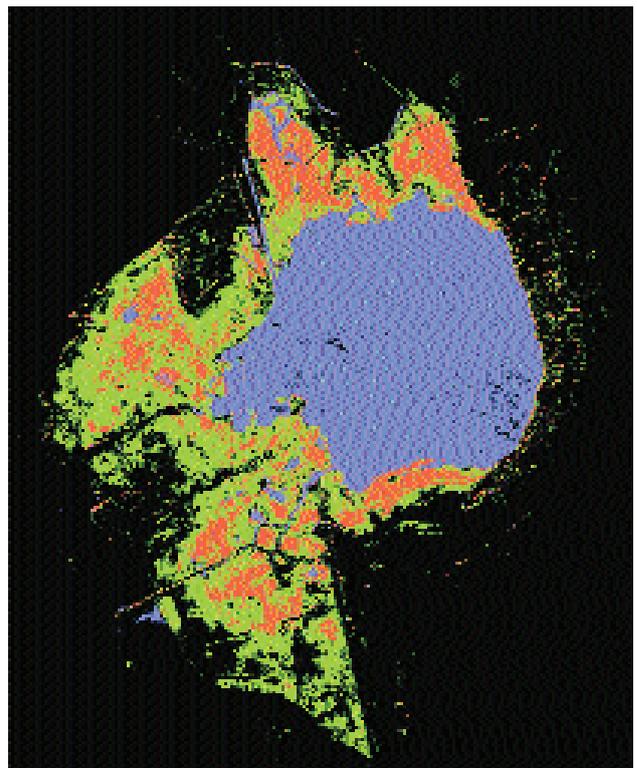


Fig. 13 - Area del canneto nella Riserva Lago di Montepulciano determinata con i dati provenienti dal sistema satellitare Quickbird (verde – canneto con ridotta presenza di acqua; marrone – canneto con alta presenza di acqua; blu – acqua "aperta").

co, quali la torbidità e la presenza di fitoplancton nonché di materia organica disciolta. La torbidità misurata è legata al materiale organico e inorganico presente in sospensione che determina la diffusione della radiazione solare. Il fitoplancton è direttamente collegato con questo fenomeno in quanto, oltre ad assorbire alcune componenti della radiazione solare in arrivo, contribuisce anche alla sua diffusione. In base a questi fattori, si è cercato di correlare le informazioni registrate dai sensori satellitari con la concentrazione di clorofilla quale stima della concentrazione di fitoplancton. Questi dati sono stati utilizzati per classificare le acque del lago nel seguente modo (Fig. 14):

1. Acqua con tipologia 1 (blu) - aree eutrofiche (*sensu* Vollenweider & Kerekes, 1982), con concentrazioni di clorofilla poco elevate (<30 $\mu\text{g/L}$);
2. Acqua con tipologia 2 (verde chiaro) - aree iper-eutrofiche (*sensu* Vollenweider & Kerekes, 1982), con concentrazioni di clorofilla moderatamente elevate (<50 $\mu\text{g/L}$);
3. Acqua con tipologia 3 (marrone scuro) - aree iper-eutrofiche, con concentrazioni di clorofilla elevate (<70 $\mu\text{g/L}$);
4. Acqua con tipologia 4 (marrone chiaro) -

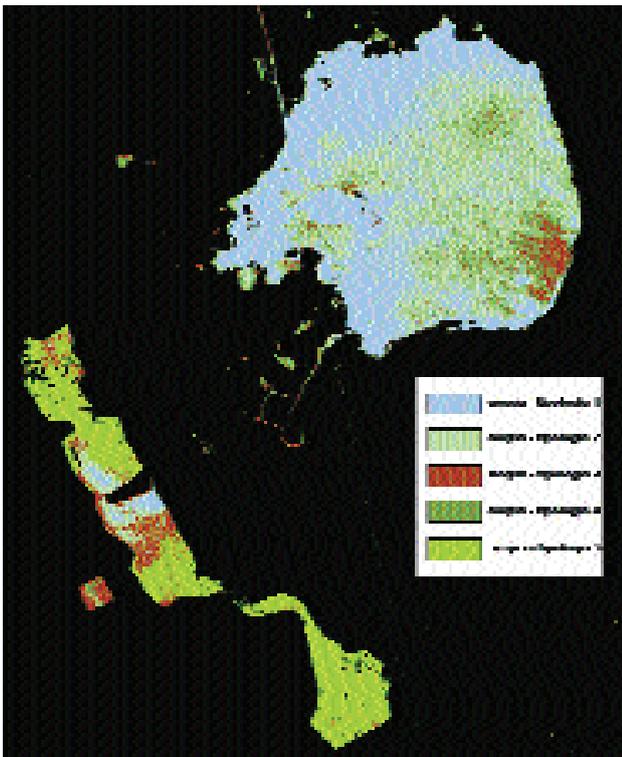


Fig. 14 - Distribuzione spaziale della tipologia (qualità) delle acque nel Lago di Montepulciano, elaborata con dati provenienti dal satellite Quickbird nel giugno 2002.

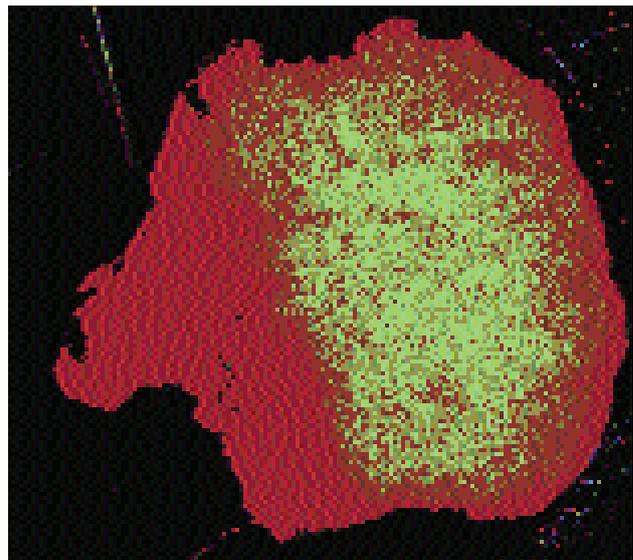


Fig. 15 - Distribuzione spaziale della tipologia (qualità) delle acque nel Lago di Montepulciano, elaborata con dati provenienti dal satellite Ikonos nel settembre 2001.

aree iper-eutrofiche, con concentrazioni di clorofilla molto elevate (<90 $\mu\text{g/L}$);

5. Acqua con tipologia 5 (verde scuro) - aree iper-eutrofiche, con concentrazioni di clorofilla elevatissime (>90 $\mu\text{g/L}$).

Dal punto di vista ecologico, le zone con basse concentrazioni di fitoplancton e a basso livello di torbidità sono più adatte all'avifauna piscivora, la quale per localizzare le prede necessita di un'acqua trasparente. Nella figura 14 è possibile verificare che le zone settentrionali del lago sono caratterizzate da questa tipologia d'acqua. La presenza in queste zone di una densità elevata di macrofite acquatiche evita la risospensione del sedimento. Inoltre, la produzione da parte delle macrofite di sostanze allopatiche, cioè tossiche per altre piante, inibisce la riproduzione di fitoplancton nelle zone con alta densità di piante acquatiche.

Le zone con alta crescita di fitoplancton sono maggiormente presenti nella parte centrale del lago e lungo il Canale Maestro. Una maggiore torbidità è riscontrabile nelle vasche di decantazione e nei chiari all'interno del canneto. Rimuovendo il carico di sedimento, le vasche consentono di ridurre la torbidità dell'acqua immessa nei canali che le collegano con il lago (Figg. 14, 15). L'alta torbidità rilevata nelle vasche non è dovuta alla sola frazione inorganica, ma è associata anche alle più alte concentrazioni di clorofilla registrate nell'ecosistema. Questo è da collegarsi con l'elevato carico

di nutrienti dovuti alle attività agricole esistenti nelle zone circostanti il lago.

La più alta concentrazione di materia sospesa (inorganica e fitoplancton) è osservabile nella parte orientale del lago. Le differenze che si riscontrano tra l'analisi ottica dal basso e quella da *remote sensing* si possono attribuire ai differenti tempi di campionamento, tra loro distanziati di circa 10 giorni.

Conclusioni

I dati raccolti tramite metodologie da campo e da satellite sono finalizzati ad una migliore conoscenza delle caratteristiche ambientali della Riserva e in particolare del lago e dell'ecosistema paludoso che lo circonda.

L'analisi ottica dimostra che il corpo idrico attenua enormemente la radiazione solare, estinguendo la radiazione UV nei primi centimetri d'acqua e quella PAR nelle prime decine di centimetri. La causa di questa forte attenuazione è da ricercare nell'abbondanza di materia organica e inorganica sia disciolta che in sospensione. In aggiunta alla disponibilità di nutrienti, l'assorbimento della radiazione visibile determina la concentrazione di fitoplancton, che in questo lago risulta elevata. Per contro, la scarsità di radiazione visibile al fondo non permette su quest'ultimo una crescita rigogliosa delle piante acquatiche indispensabili alla sua stabilità. La radiazione solare UVB (290-320 nm) è attenuata dalla matrice disciolta, mentre l'alta concentrazione dei solidi sospesi ha un effetto importante sull'attenuazione della banda UVA (320-400 nm).

La rappresentazione dei risultati in mappe consente di apprezzare i diversi habitat e la loro evoluzione. Essa può rivelarsi utile per controllare, dal punto di vista spaziale e temporale, gli effetti degli interventi programmati dalla Provincia di Siena.

Per la sua estensione, profondità e collocazione geografica, il lago risente fortemente delle variazioni stagionali e meteorologiche. Infatti, nella stagione invernale l'attività di fotosintesi, seppure piuttosto notevole, appare minima a causa del basso irraggiamento solare. Ne segue che in tale

stagione il fattore limitante la crescita di fitoplancton è la luce solare, dato che l'apporto di nutrienti è presumibilmente alto a causa del dilavamento delle zone limitrofe al lago.

L'ossigeno disciolto nell'acqua è legato ai processi di fotosintesi delle piante acquatiche e delle alghe, all'azione meccanica del vento e, in misura minore, alla diffusione diretta dall'atmosfera. Per la maggior parte dell'anno, le concentrazioni di ossigeno sono superiori al valore minimo necessario alla sopravvivenza delle specie ittiche che popolano il lago. In estate, con l'aumentare della temperatura dell'acqua e l'instaurarsi di processi batterici ossidativi a carico della materia organica presente sul fondo, si verifica una diminuzione della concentrazione di ossigeno disciolto nelle acque. Tale diminuzione può causare fenomeni di anossia (estate 2003).

L'analisi satellitare mostra variazioni spaziali della radiazione emessa. Il fenomeno della riflessione della radiazione è regolato in acqua dalla qualità di quest'ultima (vedi le tipologie 1-5 precedentemente indicate) e, sulla superficie del suolo, dalle condizioni di utilizzo e idrometriche dello stesso.

La massa d'acqua presenta cospicue variazioni spaziali e temporali delle matrici sospese in quanto nel lago, inserito in un contesto agricolo, giunge un continuo flusso di sedimenti ed elementi fitochimici. Le notevoli quantità di nutrienti e di materia disciolta che arrivano sia dai campi che dai centri abitati, non vengono "abbattute" dalle sole vasche, per cui sarebbero auspicabili un continuo monitoraggio dei parametri chimico-fisici ed altri interventi mirati. D'altra parte, poiché anche sul fondo del lago si accumulano nutrienti, un'attività di dragaggio che ne modifichi la disponibilità potrebbe ridurre l'iper-eutrofizzazione, migliorando la qualità dell'habitat lacustre e quindi del canneto.

Un controllo più attento dell'uso della briglia mobile e della gestione idrica nei campi circostanti dovrebbe ridurre le forti variazioni di ampiezza dell'acqua "aperta". D'altra parte, un monitoraggio annuale dell'estensione del canneto e dell'entità della biodiversità vegetale può servire a valutare gli effetti degli interventi eseguiti.

Testi citati

Bothwell M.L., Sherbot D.M.J. & Pollock C.M. (1994) - *Ecosystem Response to solar ultraviolet-B radiation: Influence of trophic-level interactions*. Science, 265, 97-99.

Bracchini L., Falcucci M., Hull V., Loisel S., Panella S. & Rossi C. (2001) - *Caratterizzazione del comportamento della radiazione solare (UV e PAR) nel lago del Salto e influenze sulla produzione primaria*. SITE.

Buhlmann B., Bossard P. & Uehlinger U. (1987) - *The influence of longwave ultraviolet radiation (UVA) on photosynthetic activity (¹⁴C-assimilation) of phytoplankton*. J. Plankton Res., 9, 935-943.

Huovinen P.S., Penttilä H. & Soimasuo M.R. (2003) - *Spectral attenuation of solar ultraviolet radiation in humic lakes in Central Finland*. Chemosphere, 51, 205-214.

Kirk J.T.O. (1994) - *Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge University Press.

Leech D.M. & Williamson C.E. (2001) - *In situ*

exposure to ultraviolet radiation alters the depth distribution of Daphnia. Limnol. Oceanogr., 46, 416-420.

Morris D.P. & Hargreaves B.P. (1997) - *The role of photochemical degradation of dissolved organic carbon in regulating the UV transparency of three lakes on the Pocono Plateau*. Limnol. Oceanogr., 42, 239-249.

Neale P.J. (2001) - *Modelling the effects of ultraviolet radiation on estuarine phytoplankton production: impact of variations in exposure and sensitivity to inhibition*. J. Photochem. Photobiol., 62, 1-8.

Scheffer M. (1998) - *The Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall, London.

Vollenweider R. A. & Kerekes, J (1982) - *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.

Wetzel R.G. & Likens G.E. (1991) - *Limnological Analyses*. Springer, New York.

Caratterizzazione pluviometrica della Toscana centro - settentrionale

Massimiliano Fazzini

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra
Via Laterina, 8 – 53100 Siena

L'acqua è un componente fondamentale dell'ambiente e una risorsa primaria per l'uomo. Anche per una idonea pianificazione e gestione dei suoi usi, sia a livello locale che regionale, è assai importante conoscerne la disponibilità in termini di apporti meteorici: conoscere cioè quell'insieme di parametri climatici che derivano dall'elaborazione statistica dei dati pluviometrici registrati dalle stazioni meteorologiche. L'aggiornamento di questi dati rappresenta anche il giusto approccio per entrare nel merito della tendenza di variazione di questo importante elemento del clima.

Introduzione

Il clima del territorio toscano risente fortemente della notevole varietà di fattori geografici che a varia scala caratterizzano il territorio stesso. La latitudine e la posizione dell'area rispetto al bacino del Mediterraneo, al continente europeo ed alle aree interessate dai grandi centri di azione della dinamica atmosferica, quali l'anticiclone delle Azzorre, quello russo, e la depressione d'Islanda, sono i principali fattori responsabili delle variazioni generali delle condizioni meteorologiche e quindi, in senso statistico, del clima a livello regionale. Il fattore che influenza maggiormente le variazioni meteorologiche a livello locale è la distribuzione dei rilievi, che si presentano variamente articolati in morfologie di vario tipo: a carattere montuoso come quelle della catena appenninica, delle Alpi Apuane, del Monte Amiata e di buona parte delle stesse Colline Metallifere; a carattere prevalentemente collinare come quelle

facenti parte del cosiddetto antiappennino; infine, in zone di pianure alluvionali interposte ai suddetti rilievi o di pianure costiere come la Maremma.

A scala più ridotta, influiscono ulteriori fattori locali come la differenza di altitudine e la diversa esposizione dei versanti all'insolazione ed alle correnti atmosferiche.

L'area della regione toscana più specificamente considerata (Fig.1) è collocata tra i 42°57' ed i

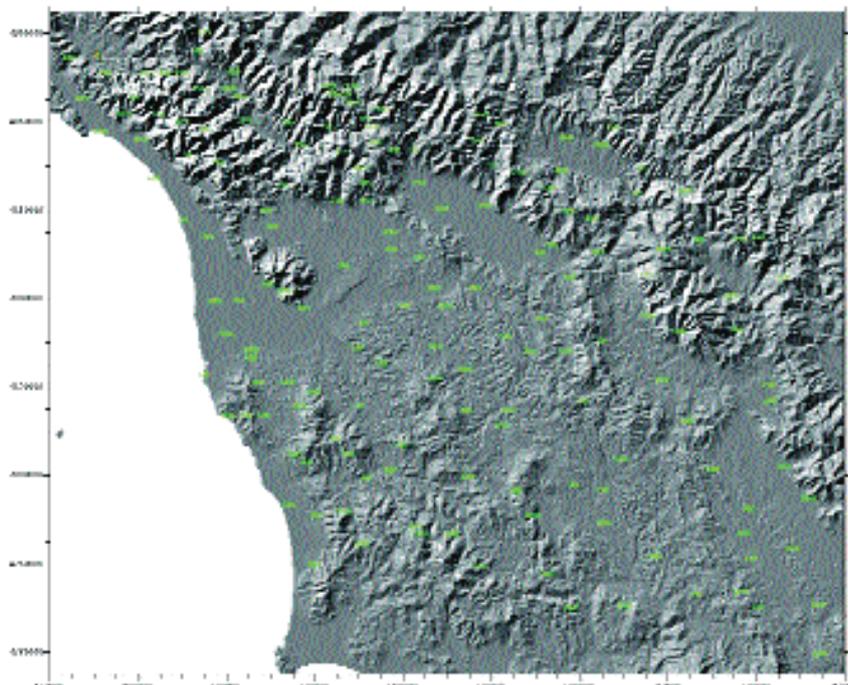


Fig. 1 - Orografia su DEM e distribuzione delle stazioni pluviometriche

44°15' di Latitudine Nord e, da un punto di vista climatico, può essere inquadrata nell'ambito della regione peninsulare centrale italiana, sottoregione tirrenica (Mennella, 1967). Nel complesso, essa gode di un clima relativamente mite, in quanto la catena appenninica la protegge dai venti freddi settentrionali (tramontana e grecale). Inoltre la vicinanza del Mar Tirreno, bacino esteso e molto più profondo del Mare Adriatico, determina un'azione mitigatrice nelle zone occidentali della penisola, molto maggiore di quanto non faccia il suo corrispondente bacino in quelle orientali.

Le caratteristiche climatologiche della Toscana evidenziano un quadro tipico di un'area temperato-mediterranea con: un inverno solo temporaneamente rigido, piuttosto nevoso sui rilievi e con escursioni termiche anche notevoli; una primavera mite e piovosa nei mesi di marzo ed aprile mentre maggio diviene spesso secco e caldo; un'estate generalmente calda, moderatamente afosa e con prolungati periodi di siccità sul litorale e nelle zone di pianura, mentre sui rilievi il clima è più fresco sia per l'altitudine, sia perché mitigato dai frequenti "temporali di calore"; un autunno mite ed ovunque ricco di precipitazioni.

Come raccomandato dal WMO (World Meteorological Organization – Organizzazione Meteorologica Mondiale), per l'elaborazione dei dati meteorologici registrati dalle stazioni pluviometriche è stato considerato un lasso di tempo sufficientemente lungo, cioè di almeno trenta anni, per un numero di stazioni tale da poter avere dati significativi sul piano statistico per il territorio preso in esame. In particolare sono stati considerati i dati relativi al periodo 1961-1995, registrati in 162 stazioni di rilevamento piuttosto uniformemente distribuite ed ubicate prevalentemente nella regione Toscana, in misura minore nelle aree confinanti delle regioni Liguria, Umbria e Lazio. Tali stazioni fanno parte della rete gestita dall'ex Servizio Idrografico della Presidenza del Consiglio dei Ministri ed attualmente appartengono alle ARPA (Agenzie Regionali per la Protezione e/o Prevenzione Ambientale) delle regioni suddette.

Anche ad un esame più specificamente rivolto ai dati pluviometrici, si nota che nell'ambito di condizioni apparentemente piuttosto uniformi, si

possono cogliere numerose peculiarità a livello locale.

La già accennata complessità delle caratteristiche orografiche della regione influisce profondamente sulla distribuzione delle precipitazioni. In prossimità della costa sono presenti ostacoli orografici quali le Alpi Apuane e i rilievi dell'anti-appennino, mentre nell'area interna si alternano rapidamente ristrette pianure alluvionali, estesi bacini intermontani e le maggiori vette appenniniche. Ne consegue che le correnti atmosferiche maggiormente responsabili di perturbazioni, nell'impatto con tali rilievi, determinano una ripartizione disomogenea delle precipitazioni stesse, con svariate e talora notevoli modificazioni topoclimatiche.

Distribuzione spazio - temporale delle precipitazioni

Contrariamente a ciò che si potrebbe pensare, l'area toscana è la meno piovosa di tutta la regione climatica tirrenica. Le cause di questa situazione sono da ricercare nella generale lontananza dei maggiori rilievi dalla costa (ad esclusione delle Alpi Apuane) e nella presenza dello "schermo corso" che s'interpone sulla direttrice di movimento delle masse d'aria, in netta prevalenza occidentali alle nostre latitudini, maggiormente responsabili dei tipi di tempo che si succedono nella regione.

Il totale medio annuo di precipitazioni nell'area considerata, calcolato su 162 stazioni, è di 1146 mm di pioggia contro i 961 mm della media nazionale.

Novembre è il mese più piovoso, con 150 mm; luglio quello più secco, con 39 mm. Dopo un pronunciato massimo autunnale si ha, in generale, una graduale diminuzione delle precipitazioni fino a febbraio, spesso succeduta da una relativa ripresa nei mesi di marzo e aprile, in cui si può registrare un massimo secondario nel regime pluviometrico. A partire dal mese di maggio, si osserva ovunque un'accentuata diminuzione delle precipitazioni causata dall'incipiente influsso dell'anticiclone subtropicale delle Azzorre, il quale si protrae in genere sino alla prima decade di settembre. La

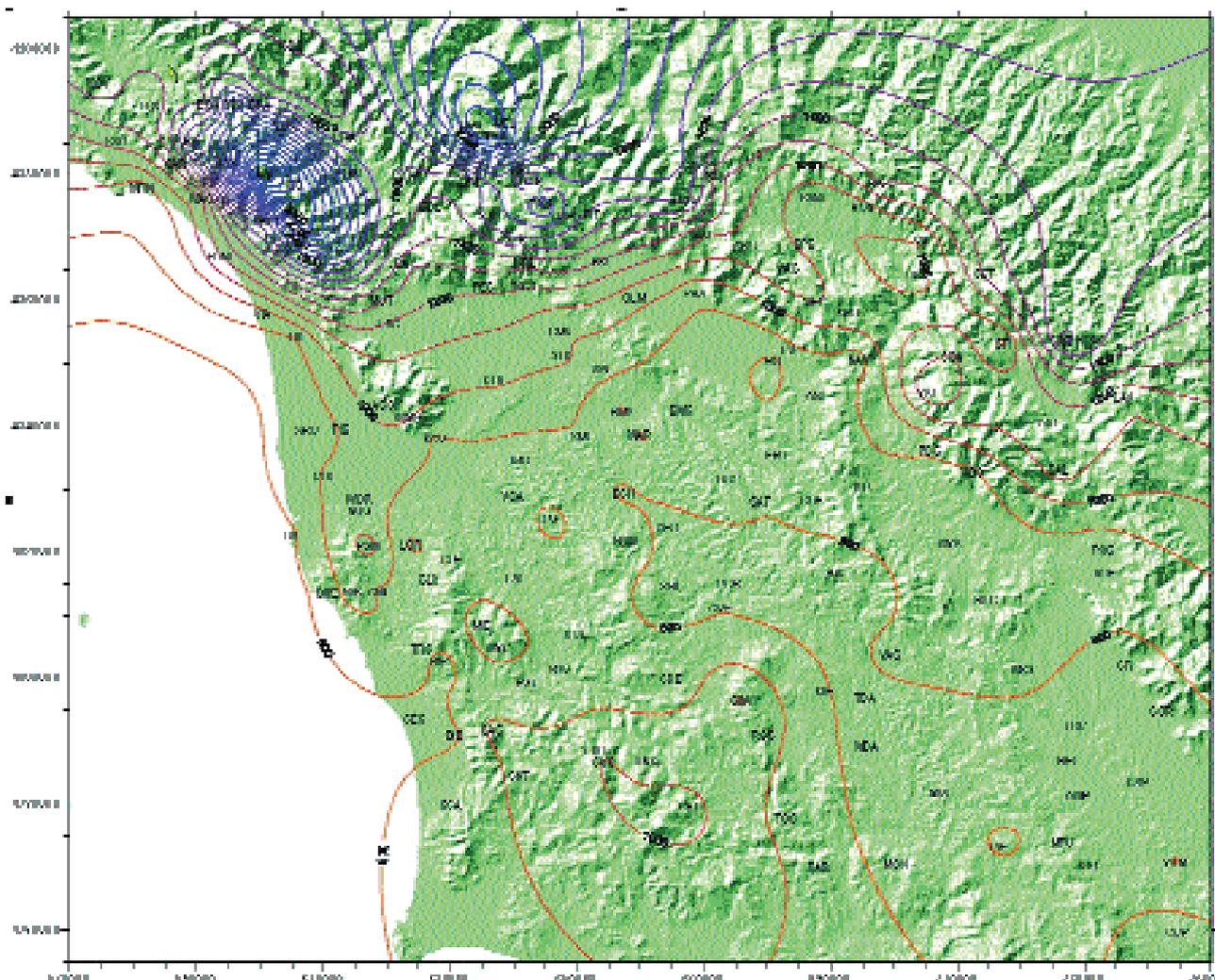


Fig. 2 - Carta delle Isoiete medie annue calcolate con il metodo statistico "Kriging"

piovosità maggiore (Fig. 2) si riscontra proprio nell'area apuana e nella limitrofa fascia appenninica situata a nord di Lucca e Pistoia, più in particolare nell'alta valle del Fiume Lima. In queste zone si oltrepassano i 2000 mm annui, con punte notevoli all'Abetone dove si raggiungono i 2500 mm (Boscolungo 2450 mm, Frassa 2481 mm e Pian di Novello 2468 mm) e sul complesso centrale delle Alpi Apuane dove si sfiorano i 3000 mm (Campagrina 2992 mm). I valori medi diminuiscono nelle depressioni infra-appenniniche della Lunigiana, della Garfagnana e nel Casentinese, pur mantenendosi generalmente al di sopra dei 1300-1400 mm (Fosdinovo 1686 mm, Barga 1483 mm, Camaldoli 1619 mm, Badia Prataglia 1561 mm). Più consistente è la diminuzione nelle depressioni interne settentrionali, come nel Mugello dove si scende a circa 1000 mm annui (Barberino 1061 mm) e lungo tutta la valle dell'Arno, dove non si superano gli 800-900 mm;

nel bacino di Firenze si scende addirittura sotto gli 800 mm annui (osservatorio Ximeniano 788 mm). A sud del Fiume Arno, ad eccezione di limitate aree delle Colline Metallifere e del Monte Amiata, la piovosità è inferiore ai 1000 mm; alcune zone, come la porzione meridionale della Valle dell'Elsa, non superano i 750 mm annui, mentre in Val di Chiana e nella fascia collinare situata ad occidente dei laghi di Chiusi e Montepulciano, non vengono superati i 700 mm (Villastrada Umbra, 698 mm; Pienza, 693 mm). Ancora più scarse sono le piogge sull'Arcipelago Toscano e lungo alcuni tratti del litorale grossetano dove non si raggiungono neppure i 600 mm annui.

Particolare importanza ha il regime pluviometrico della regione, ovvero la distribuzione media delle piogge nell'arco dell'anno.

Come già accennato, la ripartizione delle precipitazioni presenta, in generale, un massimo autunnale ed un minimo estivo decisamente pronuncia-

ti. Osservando l'andamento delle precipitazioni nell'arco dell'anno, si notano però alcune interessanti differenze tra le varie zone prese in considerazione; se il minimo assoluto infatti è comune a tutte le stazioni analizzate e si registra nel mese di luglio, il massimo assoluto si registra nel mese di novembre ad eccezione della fascia costiera e dell'immediato entroterra, dove il mese più piovoso diventa ottobre. Su buona parte del versante orientale delle Alpi Apuane, inoltre, il massimo assoluto annuo è posticipato a gennaio. Nella parte settentrionale della regione, infine, compare spesso un evidente secondo massimo primaverile, con conseguente formazione di un secondo minimo invernale nel mese di febbraio.

In conseguenza dell'estrema varietà delle condizioni pluviometriche, non è possibile adottare esclusivamente la tradizionale classificazione dei regimi proposta da Pinna & Vittorini (1985); questi Autori, ad esempio, considerano regimi mediterranei (tipicamente asciutti) quelli in cui il massimo assoluto si registra in inverno, mentre in Toscana questa condizione si verifica, come appena menzionato, solo sulla catena ad alta piovosità delle Alpi Apuane.

Si possono, in sintesi, distinguere nell'area esaminata le seguenti cinque aree relativamente omogenee sotto l'aspetto pluviometrico.

Zona a – Alpi Apuane e fascia appenninica compresa tra la Lunigiana ed il passo della Raticosa in prossimità del Monte Cimone. In questa zona, nella quale le precipitazioni superano generalmente i 2000 mm annui, è identificabile un *regime appenninico* (Fig. 3), caratterizzato da un notevole massimo autunnale e da un secondo massimo primaverile, nei mesi di marzo e aprile, intervallati da un minimo secondario che solitamente cade nel mese di febbraio. L'estate presenta quantitativi minori ma sempre

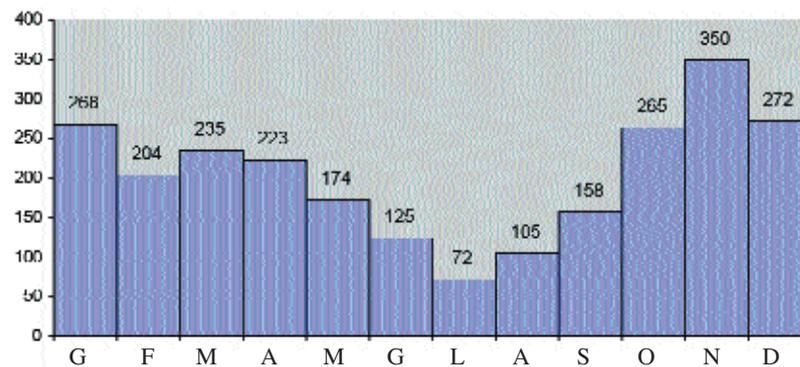


Fig. 3 - Regime appenninico - Stazione pluviometrica di Boscolungo, 1340 m (2450 mm).

superiori ai 50 mm anche nei mesi di luglio ed agosto.

Zona b – Area compresa tra i Monti della Calvana e le pendici occidentali delle Alpi apuane, caratterizzata da un *regime subappenninico* (Fig. 4), molto simile al precedente ma con quantitativi di pioggia generalmente compresi tra i 1500 e i 2000 mm annui.

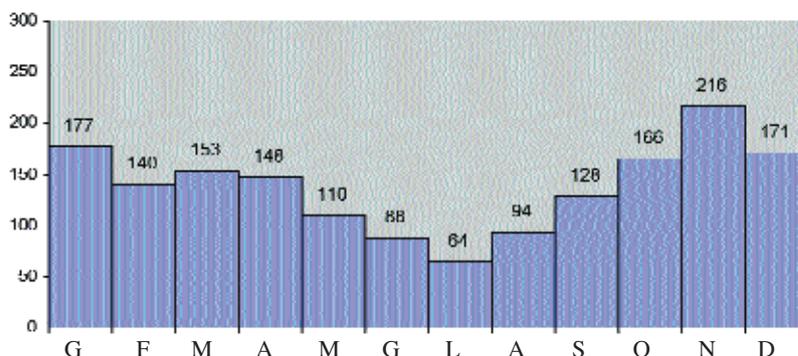


Fig. 4 - Regime subappenninico - Stazione di Sperando, 470 m (1655 mm).

Zona c – Il restante territorio situato a nord dell'Arno e le aree più elevate localizzate a sud di tale fiume (Colline Metallifere, M.te Amiata), in cui si ha un *regime sublitoraneo tirrenico* (Fig. 5), anch'esso bimodale con massimo secondario primaverile e minimo secondario invernale e con quantità annue comprese tra i 1000 e i 1500 mm.

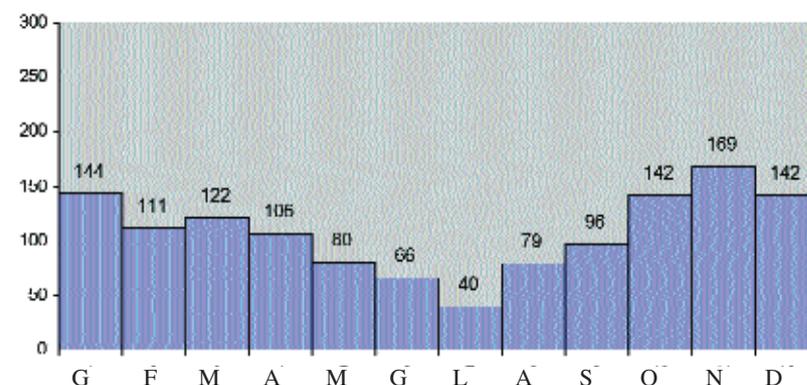


Fig. 5 - Regime sublitoraneo - Stazione di Pistoia, 88 m (1297 mm).

E' importante sottolineare che in quest'area sono già evidenti i caratteri mediterranei, tanto che i mesi estivi spesso presentano quantitativi inferiori ai 50 mm e relativamente brevi periodi secchi.

Zona d – Il complesso collinare subappenninico, prevalentemente situato a sud dell'Arno, caratterizzato da un *regime litoraneo* (Fig. 6), nel quale l'entità del secondo massimo primaverile si riduce considerevolmente o scompare del tutto e

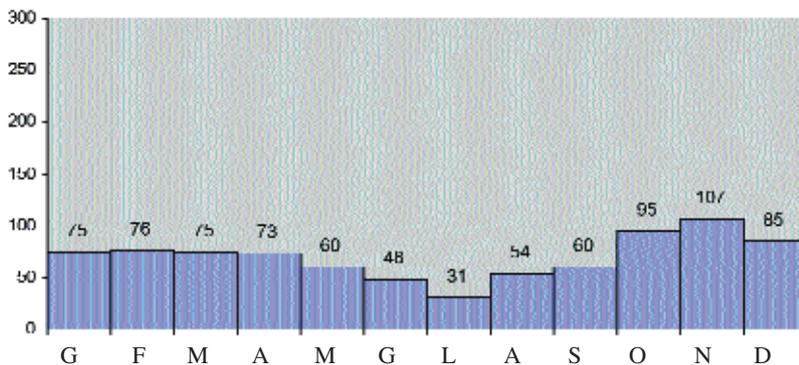


Fig. 6 - Regime litoraneo – Stazione di Laiatico, 205 m (837 mm).

con esso anche il secondo minimo invernale. Le precipitazioni in quest'area non superano i 1000 mm annui ed il minimo assoluto di luglio è di poco superiore ai 30 mm.

Zona e – La fascia costiera, l'area collinare situata tra Pisa e le Colline Metallifere, nonché alcuni tratti delle aree interne meno piovose (Val di Chiana, Val d'Elsa), caratterizzate da un *regime mediterraneo* (Fig. 7), con andamento unimodale in cui si identificano un deciso massimo tardo-autunnale e un minimo assoluto che localmente scende sotto i 30 mm. I valori annui sono compresi tra i 600 e gli 800 mm.

La caratterizzazione pluviometrica del territorio sopra delineata descrive l'andamento generale del fenomeno; non bisogna, tuttavia, trascurare

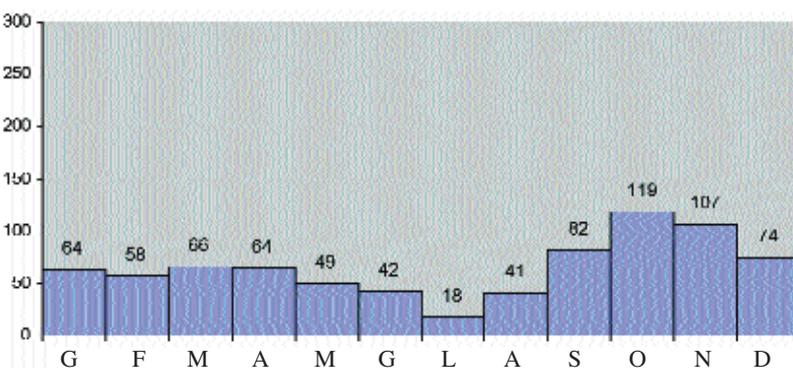


Fig. 7 - Regime mediterraneo – Stazione pluviometrica di Livorno, 3 m (784 mm).

che localmente si possono ravvisare situazioni particolari suscettibili di dare origine a regimi transizionali difficilmente classificabili.

La distribuzione media del numero dei giorni piovosi, cioè quelli con precipitazioni uguali o superiori ad 1 mm, non riflette quella relativa alla quantità di acqua caduta, a seconda delle diverse caratteristiche delle aree del territorio. In tal senso, mentre l'area più piovosa della regione ricade nelle Alpi Apuane, quella con il maggior numero dei giorni piovosi si riscontra nel Casentino, ove si possono registrare mediamente più di 125 giorni/anno di pioggia mentre nelle Apuane non si superano i 100-105 giorni /anno.

Risulta quindi evidente nell'Appennino un carattere di minore intensità media delle precipitazioni rispetto all'area apuana. Il minimo, invece, si registra in alcune

zone della Maremma, dove il valore scende sotto i 70 giorni/anno di pioggia.

La siccità colpisce maggiormente la pianura, le colline e la fascia costiera priva di montagne retrostanti. I giorni secchi consecutivi possono essere oltre 60 nei bacini interni (Valdichiana), mentre in montagna si riducono di un terzo.

La neve interessa praticamente solo la parte montuosa. Se a 1500 metri di quota (con riferimento ai rilievi settentrionali del territorio considerato) si superano complessivamente i 200 cm di neve fresca all'anno, ed il manto nevoso resiste per circa 100 giorni a 1000 metri di quota, alle quote inferiori e nelle pianure si hanno invece nevicate sporadiche che diventano del tutto rare sulla costa.

Abbastanza frequenti sono i temporali, soprattutto sul finire dell'estate e all'inizio della primavera e dell'autunno. Nei mesi di luglio ed agosto, specialmente sulle pendici del Prato-magno, del Chianti e delle Alpi Apuane, essi sono piuttosto frequentemente accompagnati da grandine, con conseguenti gravi danni alle colture.

Distribuzione verticale delle precipitazioni

Non sempre in un'area esiste una relazione diretta tra l'aumento dell'altitudine e le quantità di precipitazioni registrate, soprattutto laddove l'orografia è complessa.

Un valido metodo per leggere la distribuzione verticale delle precipitazioni, è quello di costruire diagrammi cartesiani piogge-altezze. Le tendenze sono state evidenziate inserendo prima una semplice retta di regressione ed in seguito curve interpolanti di ordine superiore. Dopo aver effettuato accurati confronti, sono state utilizzate le interpolanti di III ordine, che meglio spiegano il rapporto esistente tra le due variabili (Fig. 8). Dall'esame dei grafici si osserva che tale rapporto è statisticamente abbastanza contenuto, con un coefficiente di correlazione (r^2); è altresì evidente un'alta varianza, che si può evidenziare, per altitudini simili, nella spezzata delle precipitazioni che presenta un continuo susseguirsi di punti al di sopra e al di sotto della curva di regressione. Tale caratteristica, tende ad accentuarsi all'aumentare delle quote ed in particolar modo ad altitudini superiori ai 600 m circa. L'esistenza di *outlayers*, cioè di stazioni che hanno una piovosità nettamente superiore o inferiore alla media, sottolinea ancor più la presenza di numerose situazioni microclimatiche.

I siti che maggiormente si discostano dalla media risultano essere quelli di Campagrana (850 m di quota) con 2992 mm di pioggia all'anno, Isola Santa (585 m) con 2587 mm, Palagnana (710 m) con 2403 mm, Casania (343 m) con 2051 mm e Gallicano (186 m) con 1782 mm.

Le anomalie di queste stazioni, geograficamente molto vicine tra loro, si spiegano abbastanza bene considerando che esse sono ubicate sulle Alpi Apuane o alle loro pendici. Le Alpi Apuane, come già sottolineato, "bloccano" le masse d'aria

umide che giungono non solo da occidente, ma anche da meridione, e riversano specie sui pendii "sopravento" abbondanti precipitazioni.

Situazioni con piovosità molto al di sotto della media regionale si riscontrano nel territorio di Pienza (499 m) con 693 mm, di Montepulciano (605 m) con 705 mm, di Montalcino (564 m) con 761 mm e di Chianciano (549 m) con 771 mm, piuttosto vicine tra loro e collocate sulla zona altocollinare ad ovest dei laghi di Montepulciano e Chiusi. Tali peculiarità sono probabilmente dovute da una parte alla loro lontananza dai rilievi appenninici posti a nord e dall'altra al rilievo del Monte Amiata (1738 m), situato poco a sud, che pone queste stazioni in posizione sottovento rispetto alle correnti umide meridionali.

Relativamente ai dati rilevati in alcuni siti di vetta o di valico, come quello di La Verna (1128 m e 1121 mm), è molto probabile che i quantitativi siano notevolmente sottostimati dai pluviometri che, a causa dei forti venti che spesso accompagnano le precipitazioni, non registrano i reali quantitativi prodotti durante il fenomeno.

Ritornando all'esame dell'andamento della curva interpolante, è da mettere in evidenza che se

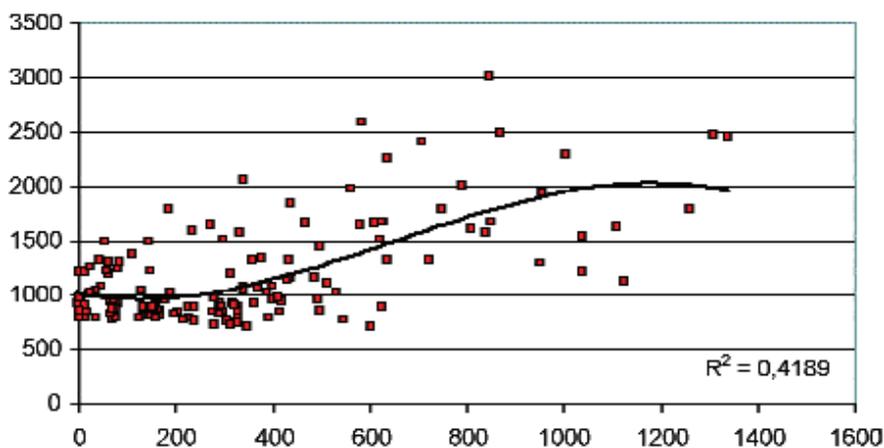


Fig. 8 - Relazione quota - precipitazione per l'anno.

è accertato un generale aumento delle precipitazioni all'aumentare della quota, è altresì evidente, attorno ai 1200 m, la presenza di un optimum pluviometrico - ovvero di una quota intorno alla quale si raggiungono le precipitazioni più cospicue ed oltre la quale i valori iniziano a diminuire. Non è possibile, tuttavia, affermare con sufficiente certezza l'esistenza di tale limite altimetrico a causa

del limitato numero di stazioni di rilevamento situate al di sopra dei 1000 m e della loro totale assenza al di sopra dei 1350 m di altitudine.

Distribuzione stagionale delle precipitazioni

A causa delle notevoli variazioni stagionali della dinamica atmosferica, risulta logico aspettarsi una notevole diversificazione nei conseguenti apporti meteorici.

L'inverno (Fig. 9) è la stagione con la maggiore varianza statistica delle precipitazioni, ovvero sia con i maggiori scarti tra i quantitativi registrati nell'area apuana-appenninica e quelli della collina senese, e con una media generale di 326 mm, che rappresenta il 28% del totale annuo. I totali sono compresi tra i 162 mm di Pienza, i 164 di Montepulciano e di Villastrada Umbra e gli 803 mm di Palagnana e gli 865 mm Isola Santa, fino ad arrivare ai 1021 mm di Campagrina. La dipendenza delle precipitazioni dalla quota risulta essere decisamente bassa - intorno al 36% -, corrispondente al valore più basso riscontrato in tutte le stagioni.

In primavera (Fig. 10) la media generale di precipitazioni è di 279 mm con una percentuale sul totale annuo del 24% circa; le precipitazioni sono comprese tra valori minimi registrati nei rilievi collinari senesi-aretini - Villastrada Umbra, 166 mm; Pienza, 168 mm; Montepulciano, 170 mm; Foiano della Chiana 171 mm - e i valori massimi di alcune stazioni montane dell'appennino pistoiese-lucchese - Isola Santa con 640 mm, Campagrina con 762 mm, Frassa (870 m) e Pian di Novello (1309 m), entrambe con 630 mm -. Anche se la varianza è decisamente elevata, come si riscontra nella enorme differenza di precipi-

tazioni che esiste tra le stazioni di Montepulciano e Isola Santa, situate all'incirca alla stessa quota, risulta comunque evidente come nei mesi primaverili sussista una certa dipendenza, anche se non ele-

vata, dei fenomeni meteorici dall'altitudine, in tal senso il coefficiente di determinazione si attesta attorno al 45%.

L'estate (Fig. 11) è la stagione in cui le precipitazioni sono meno abbondanti e al contempo maggiormente livellate. La media del periodo è di 172

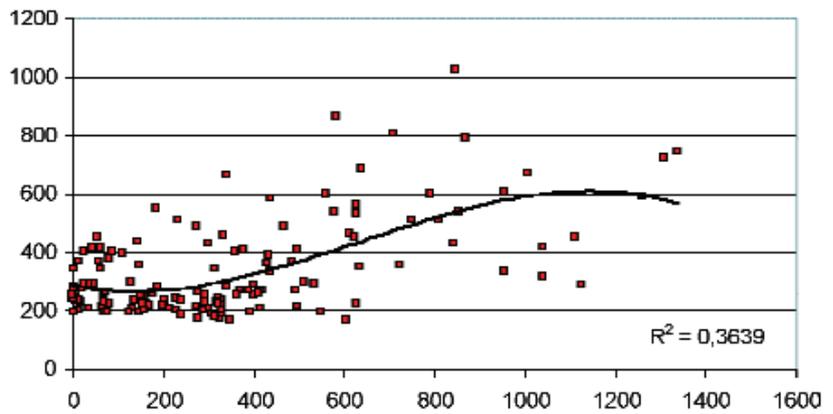


Fig. 9 - Relazione quota - precipitazione per la stagione invernale.

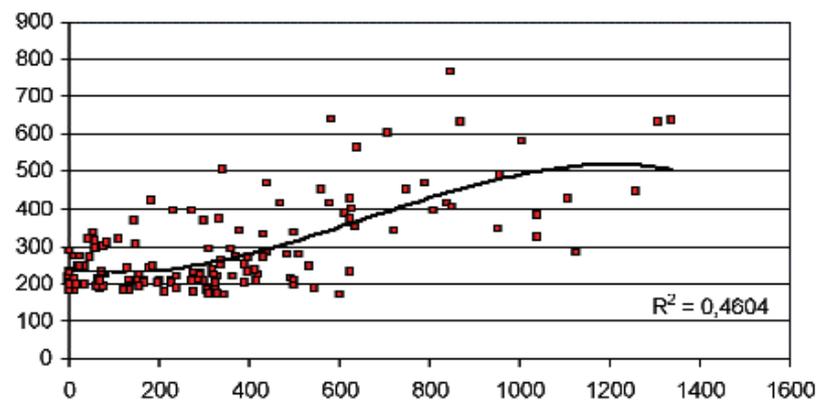


Fig. 10 - Relazione quota - precipitazione per la stagione primaverile.

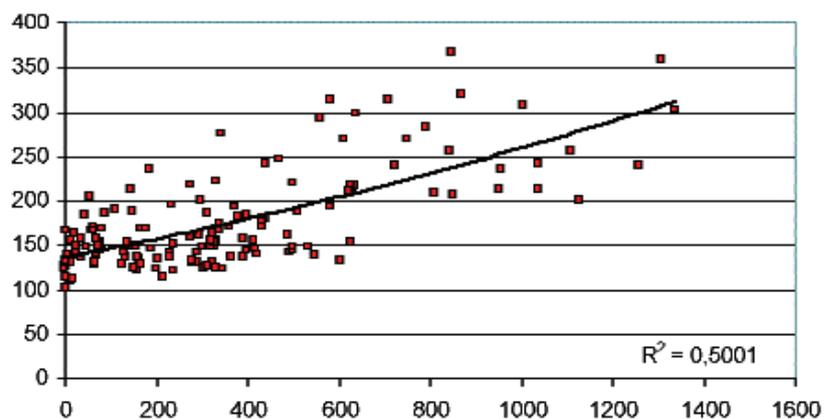


Fig. 11 - Relazione quota - precipitazione per la stagione estiva.

mm, con valori compresi tra i 101 mm ed i 367 mm, e rappresenta il 15% delle precipitazioni annuali; i minimi assoluti si registrano nel mese di luglio con valori che possono scendere in certe zone al di sotto dei 30 mm, valore limite per la definizione di clima mediterraneo ed indice di una certa aridità climatica. Parimenti è evidente una maggiore dipendenza delle precipitazioni dall'altitudine, il coefficiente di determinazione sfiora il 50%.

Un'altra caratteristica del trimestre estivo da sottolineare consiste nel fatto che i minimi assoluti di precipitazione vengono registrati sulla costa tirrenica, maggiormente esposta all'influenza delle brezze marine che non favoriscono la formazione di temporali di calore – Livorno, 101 mm; Cecina, 108 mm; Quercianella, 111 mm; nell'immediato entroterra: Castagneto Carducci (171 m), 106 mm; Riparbella (216 m), 113 mm. I valori massimi vengono registrati a ridosso della dorsale appenninica (Campagrina con 367 mm e Pian di

Novello con 358 mm).

Trend medio regionale

Dopo aver visionato il modo con il quale le precipitazioni si distribuiscono nell'arco dell'anno, è interessante osservare come esse si siano distribuite durante il periodo 1961-1990.

Si è a tal fine utilizzato un indice di tendenza media, che prende in considerazione l'andamento delle precipitazioni relative ad ogni stazione nell'ambito del trentennio. Esso esprime la quantità di pioggia che si è "persa" o "guadagnata" annualmente rispetto alla media aritmetica.

Il risultato preoccupante, e che conferma la tendenza rilevabile in gran parte del bacino del Mediterraneo, è che tutte le 162 stazioni pluviometriche prese in esame mostrano valori di tendenza negativi, eccezion fatta per la stazione di Stiappa che presenta un valore leggermente positivo.

Risulta però molto difficile stabilire relazioni tra la diminuzione di tali valori e le caratteristiche morfologiche del territorio, a conferma che le cause sono probabilmente legate a modificazioni dei quadri sinottici a scala continentale. Per fare alcuni esempi, si può osservare come in una delle aree più piovose della regione, l'alta valle del Fiume Lima, vi siano in pochi chilometri

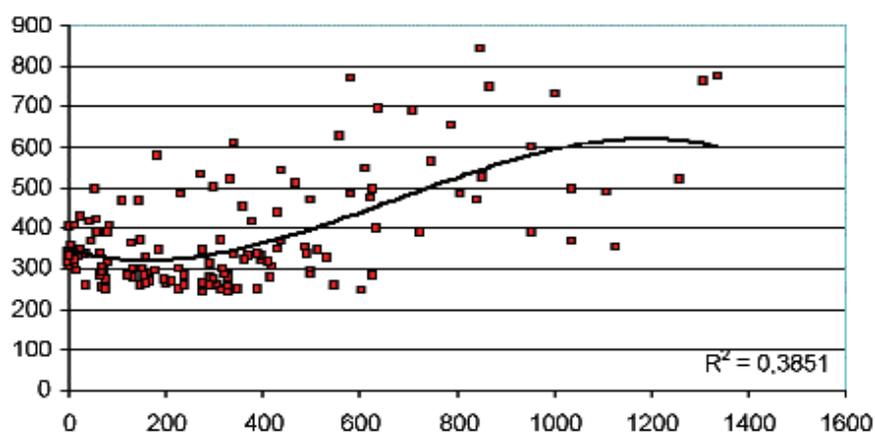


Fig. 12 - Relazione quota - precipitazione per la stagione autunnale.

Novello con 358 mm).

In autunno (Fig. 12) tutte le stazioni esaminate presentano quantitativi medi superiori ai 200 mm, con una media di 369 mm, che rappresenta il 33% delle precipitazioni totali. I valori massimi si rinvenivano ancora una volta nelle stazioni alto-collinari e montane di Campagrina con 843 mm, Isola Santa con 769 mm, Boscolungo con 773 mm e Pian di Novello con 758 mm.

Valori minimi di pioggia si registrano in località situate a quote medio basse quali Abbazia di Montepulciano (280 m) con 240 mm, Montepulciano (605 m) e Radda in Chianti (481 m) con 241 mm, San Gimignano (332 m) con 237

diminuzioni dei valori medi annui compresi tra i 15 mm di San Marcello Pistoiese, i 20 mm di Frassa ed i 2,4 mm di Selva dei Porci ed 1 solo mm di Sperando.

Anche nell'area delle Alpi Apuane, sono riscontrabili notevoli differenze a seconda delle stazioni considerate. Se infatti a Retinano si sono persi 20 mm annui di pioggia e a Equi Terme, Galliciano e Rifugio Belvedere le perdite superano i 25 mm, a Casania, una delle stazioni più piovose della regione, la diminuzione ammonta soltanto a 4 mm annui, valore che scende a 1,4 mm a Vagli di Sotto. Diminuzioni considerevoli si registrano anche a Gavigno e Cireglio, situate a ridosso dello

spartiacque appenninico, dove si sono persi più di 25 mm di pioggia all'anno.

Le stazioni nelle quali la diminuzione dei valori assoluti è stata più contenuta, ricadono chiaramente nell'area meno piovosa della regione, ovvero nell'area situata a sud dell'Arno. In genere si osservano diminuzioni inferiori ai 5 mm annui, come nelle stazioni di Livorno (3,5 mm), Firenze (3 mm), Cortona (2,6 mm), Chianciano Terme (2,5 mm) e Ferrone (2,2 mm). Anche in quest'area però non mancano stazioni che registrano valori in contrasto con la tendenza generale della zona. A Miemo e Casole d'Elsa, ad esempio, la diminuzione di precipitazioni è molto più consistente poiché supera i 15 mm annui (circa il 5% dei totali annui), determinando una certa preoccupazione per le conseguenze in agricoltura, componente fondamentale dell'economia locale.

Testi citati e di approfondimento

Baldini D. (1996) – *Studio delle relazioni tra precipitazioni ed altezza nell'Appennino emiliano*. Dip. Scienze della Terra, Univ. Di Pavia, Tesi di Laurea inedita, A.A. 1995-1996.

Barazzuoli P., Guasparri G. & Salleolini M. – *Il clima*. In: "La storia naturale della Toscana meridionale" (Giusti F. ed.), Pizzi, Milano.

Mennella C. (1967) – *Il clima d'Italia in generale*. F.lli Conte, Napoli.

Mennella C. (1970) – *Il clima d'Italia: i climi compartimentali della regione italiana (Italia continentale e versante adriatico)*. F.lli Conte, Napoli.

Ministero dei Lavori Pubblici / Servizio Idrografico / Compartimento di Bologna (1959) – *Precipitazioni medie mensili ed annue e numero di giorni di piovosi per il trentennio 1960-1990: bacini con foce al litorale adriatico dal Reno al Tronto*. Istituto Poligrafico dello Stato.

Ministero dei Lavori Pubblici / Servizio Idrografico / Compartimento di Pisa. (1959) – *Precipitazioni medie mensili ed annue e numero di giorni di piovosi per il trentennio 1960-1990: bacini con foce al litorale tirrenico dal Magra all'Ombrone*. Istituto Poligrafico dello Stato.

Pinna M. (1977) – *Climatologia*. UTET, Torino.

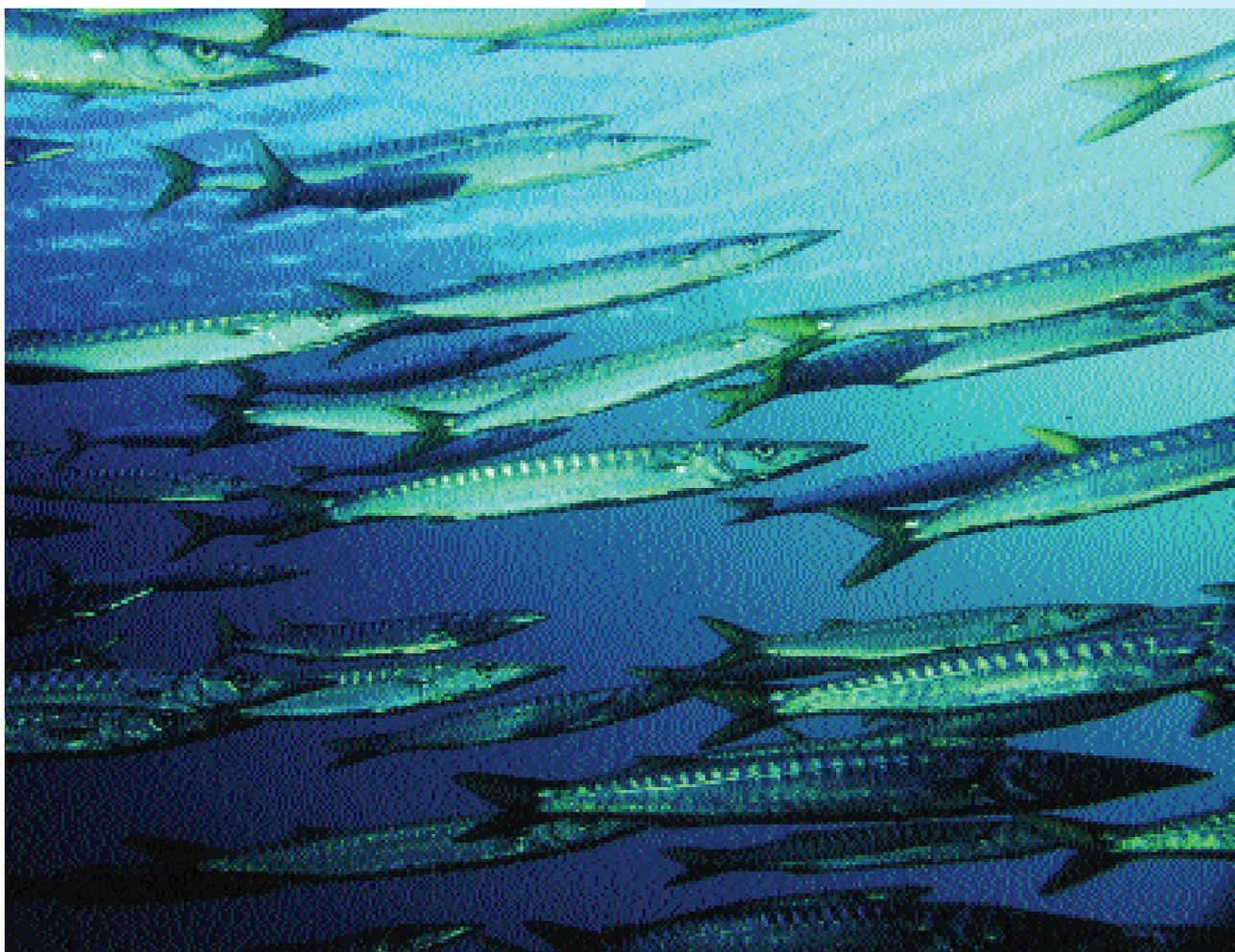
Pinna M. & Vittorini S. (1985) – *Contributo alla determinazione dei regimi pluviometrici in Italia*. In: "Contributi di climatologia" (Pinna ed.), Mem. Soc. Geogr. Ital., 39, 147 - 168.

Società Geologica Italiana (1992) – *Guide Geologiche Regionali, Appennino Tosco-Emiliano*. BE-MA editrice.

Toschi U. (1961) – *Le Regioni d'Italia. Emilia-Romagna*. UTET, Torino.

Il punto della situazione

Il punto della situazione



Un fitto banco di barracuda o lucci di mare (*Sphyraena sphyraena*) nelle acque delle Formiche grossetane
Foto "Il Graffio", Follonica

L'Isola di Pianosa: un'occasione perduta?

Luca Maria Foresi, Paolo Piga

Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa
Località Filetto, 82 – Campo nell'Elba (Livorno)

Per oltre 150 anni Pianosa è stata totalmente destinata a carcere nella forma di colonia penale agricola. Più recentemente alcuni dei suoi stabilimenti penali sono stati trasformati per “ospitare”, in massima sicurezza, dapprima detenuti per terrorismo (nei cosiddetti “anni di piombo”), poi “boss” mafiosi (agli inizi degli anni '90, a seguito delle stragi di Palermo, in particolare quelle dove morirono i giudici Falcone e Borsellino). Da oltre 6 anni il carcere ha cessato la sua attività e l'isola, rimasta completamente disabitata, è entrata a far parte del recentemente istituito Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano. Un'isola dove non ci sono proprietà private, unica fra le “sette sorelle” dell'arcipelago veramente idonea a divenire parco. Indecisioni, mancanze, disaccordi, cattiva volontà e altro, hanno affondato ogni progetto e condannato l'isola ad un degrado molto profondo.

L'Isola di Pianosa ricade sotto l'Amministrazione comunale di Campo nell'Elba e sotto quella provinciale di Livorno. Quinta per estensione tra le sette isole dell'Arcipelago Toscano, essa ha una superficie di circa 10 km², un perimetro costiero di circa 24 km ed un'altezza massima di 29 m (34 m all'Isolotto della Scola). Ubicata 13 km a S dell'Elba, dista 40 km dalla Corsica e 50 dalla penisola italiana. L'isola rappresenta una piccola

porzione emersa di una dorsale sottomarina che, a partire dallo Scoglio Africa (alcune miglia ad W di Montecristo), si allunga con direzione N-S chiudendosi poche miglia ad E dell'isola di Capraia. Tale struttura, cui viene dato il nome di Dorsale o Altofondo di Pianosa, divide il Bacino tirrenico in due parti: quella compresa fra la dorsale e la Corsica, che raggiunge gli 800 m di profondità, e quella fra la dorsale e il continente, con profondità massime di 400 m (Fig. 1).

La geologia dell'isola è molto interessante; Pianosa, infatti, è totalmente costituita da rocce sedimentarie neogeniche non più antiche di 17-18 milioni di anni. Calcareniti di epoca pliocenica costituiscono pressoché tutta l'isola e poggiano in discordanza su sedimenti marnosi del Miocene (Fig. 2) affioranti solo sul lato occidentale, alla base della falesia. Altri depositi, sebbene meno diffusi, sono quelli del Quaternario. Essi consistono in una “panchina” riferibile al piano Tirreniano (la cui base è datata a circa 120.000 anni fa) e in sedimenti detritici più recenti di ambiente continentale (probabilmente non più antichi di 18.000 anni fa); i primi depositi risultano legati ad un episodio interglaciale (il livello marino era in posizione più elevata rispetto a quello attuale), i secondi ad un episodio glaciale (il livello marino era più



Fig. 1 - La posizione in mare aperto e al limite della scarpata che borda ad E il canale della Corsica, fa sì che Pianosa costituisca un luogo eccezionale dal punto di vista ambientale-naturalistico.



Fig. 2 - Falesia occidentale dell'isola: i depositi del Pliocene, a giacitura circa-orizzontale, poggiano con chiara e marcata discordanza angolare su quelli del Miocene, fortemente inclinati.

basso rispetto a quello attuale). Caratteristica comune a pressoché tutte le rocce è la ricchezza in fossili. Questi, particolarmente presenti nei sedimenti pliocenici e nella “panchina” tirreniana (Fig. 3), suscitano interesse fin dalla seconda

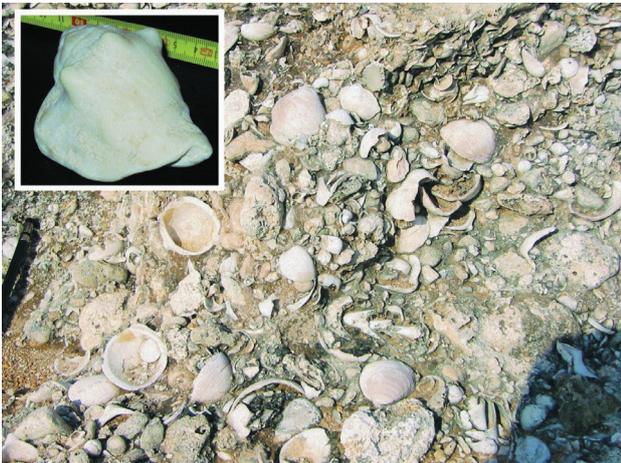


Fig. 3 - Tipica facies fossilifera della “panchina” (un deposito organogeno-detritico) di età tirreniana. Nel riquadro, un mollusco gasteropode della specie *Strombus bubonius* (attualmente vivente lungo le coste africane del Golfo di Guinea), caratteristica di questa facies.

metà dell'Ottocento. Non meno significative sono le esposizioni lungo la costa, spesso veramente suggestive, come pure le forme dovute all'erosione marina e all'attività carsica sia epigea che ipogea. Nonostante l'esiguo spessore delle calcareniti plioceniche (30 m al massimo), le forme dovute alla dissoluzione dei carbonati sono molto comuni come pure il rinvenimento di speleotemi (Fig. 4).

Malgrado sull'isola non vi siano corsi d'acqua,

questa non manca nel sottosuolo ed è stata sempre sufficiente al fabbisogno degli abitanti. In passato, gran parte della superficie dell'isola veniva coltivata o adibita a pascolo; la parte restante era invece caratterizzata da macchia bassa di tipo mediterraneo o da pinete, frutto di rimboschimenti non molto “appropriati”. Oggi, anche se le coltivazioni non esistono più, restano intatte le pinete e la macchia mediterranea. Un piccolo bosco di lecci (circa mezzo ettaro) testimonia, forse, l'originaria vegetazione dell'isola, probabilmente modificata già in periodo etrusco. Si ritiene, infatti, che gli Etruschi abbiano operato un disboscamento quasi totale dell'arci-

pelago per rifornire di legna i forni di fusione del minerale ferroso elbano. A primavera, comunque, l'isola esplode in una fioritura inebriante sia della macchia che dei prati (Fig. 5).

Il vero patrimonio naturale di Pianosa, però, è il mare. Le acque sono limpidissime e dai riflessi turchesi quando insistono su fondali sabbiosi (Fig. 6). Le batimetrie si mantengono limitate anche a notevoli distanze dalla costa, quasi a proseguire la morfologia della parte emersa. I fondali rocciosi ospitano numerosi pesci di taglia ragguardevole, soprattutto sparidi, ma anche molti altri. Attorno ai picchi sommersi nuotano branchi di dentici e ricciole, mentre alla loro base risiedono grossi esemplari di cernia. I fondali sono ricchi di spugne, alghe e altri organismi dai colori vivissi-

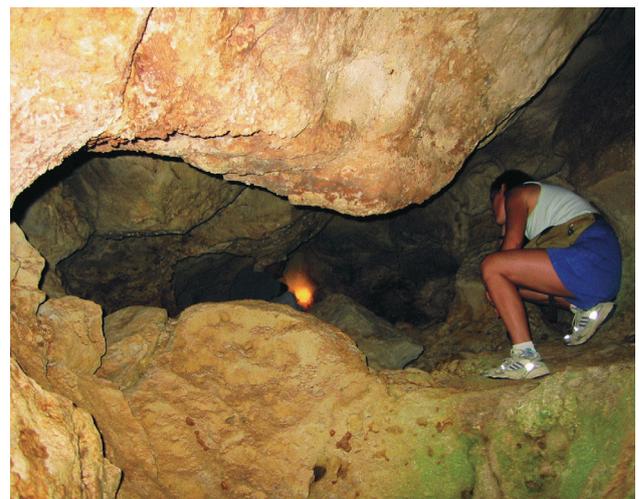


Fig. 4 - Grotta a Punta Brigantino, versante meridionale. Grotte, condotte e cavità di origine carsica sono diffuse in tutta l'isola.



Fig. 5 - Fioritura primaverile lungo la costa, sulle spianate di erosione marina.

mi (Fig. 7), oppure sono ricoperti da praterie di *Posidonia* (considerata la più rigogliosa e in salute della nostra penisola) dove si nascondono numerosissimi avannotti e dove cresce a “dismisura” il mollusco bivalve *Pinna nobilis*. Non meno suggestive, poi, le grotte sommerse, di natura sempre carsica, ma realizzatesi in tempi in cui il livello marino era più basso dell’attuale. Non bisogna dimenticare, in proposito, che nello stadio glaciale Würm III, corrispondente a circa 18.000 anni fa, il livello marino era oltre 100 metri più basso dell’attuale, per cui Pianosa, l’Elba e la nostra penisola rappresentavano un unico territorio.

Per più di 150 anni Pianosa è stata completa-



Fig. 6 - Acque turchesi di fronte alla spiaggia di Cala S. Giovanni.

mente dedicata a carcere e numerose sono le edificazioni che lo ricordano. Dal 1998, l’isola è stata restituita agli uomini liberi ed è parte integrante del Parco Nazionale dell’Arcipelago Toscano. Da questa data, purtroppo, essa vive una profonda crisi di “vocazione” in quanto nessuno, in pratica, è ancora riuscito a riqualificarla ad un nuovo destino. Questa situazione di stallo, unitamente al totale spopolamento realizzatosi con la chiusura del carcere, ha favorito il progressivo deterioramento di tutte le strutture carcerarie e produttive nonché delle abitazioni, tanto che molte di queste

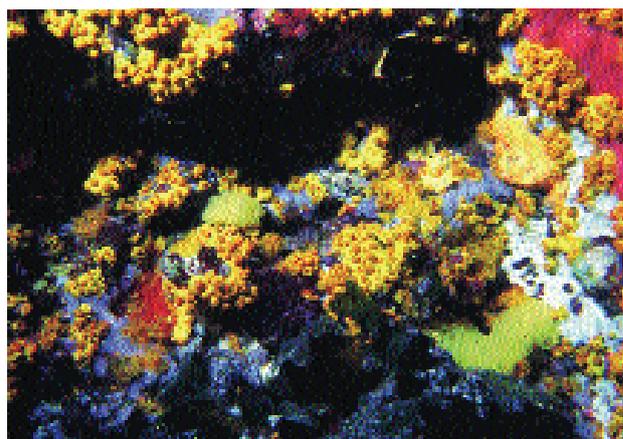


Fig. 7 - Particolare del fondale multicolore ricoperto di alghe, spugne e celenterati.

strutture sono fatiscenti e a rischio di crollo (Fig. 8).

Per capire quale sia la “sofferenza” di Pianosa e di quelli che veramente la amano perché hanno “l’anima isolana” (quella che si attacca alla propria terra e al proprio mare come una patella allo scoglio), dobbiamo conoscere la storia dell’isola. Chi è nato ed ha vissuto qui sente il peso della storia e nel contempo l’orgoglio di esserne stato parte. Egli percepisce la difficoltà che l’isola attraversa ed ha paura che si attui la barbarie della dimenticanza, che si perdano i valori che l’isola porta con sé: valori che, purtroppo, il visitatore anche attento non può percepire se

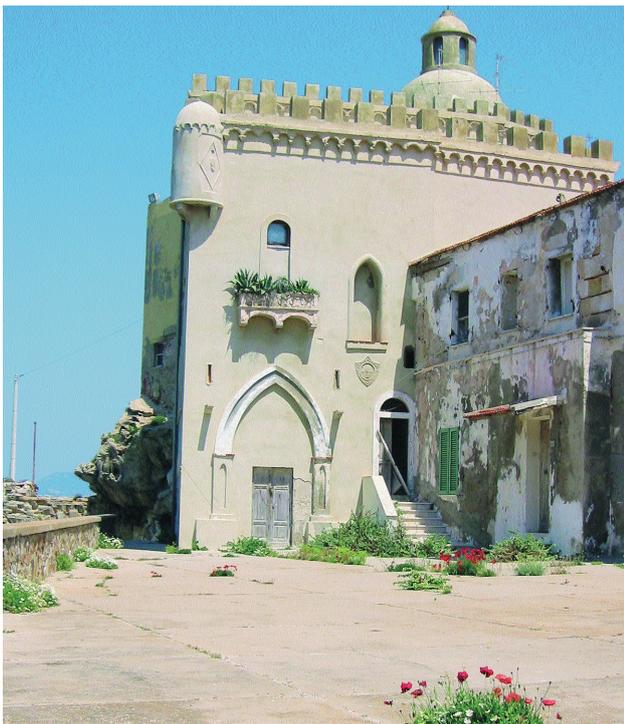


Fig. 8 - La piazzetta del porto, un tempo luogo di ritrovo, è oggi praticamente inaccessibile per la possibilità di crollo delle strutture circostanti.

non ben istruito. Solo se, chiudendo gli occhi, riusciamo ad immaginare gli antichi abitanti succedutisi nei secoli intenti nelle loro opere o solamente a passeggiare nei viali dell'isola, riusciamo ad entrare nel significato di ogni pietra, grotta o angolo recondito e a prendere coscienza dei valori, allora possiamo percepire quella "sofferenza". Per raggiungere questo scopo con il lettore, racconteremo alcune brevi note storiche che speriamo siano sufficienti a coinvolgerlo.

Le più antiche tracce di presenza umana nell'isola sono attribuibili al Paleolitico superiore ma più frequenti sono i resti di popolazioni del Mesolitico e Neolitico, consistenti in sepolture di vario tipo (Fig. 9), ossari, grotte artificiali o naturali e in numerosi strumenti litici e ceramiche. Il ritrovamento di strumenti in ossidiana, assente in Toscana, rimanda a commerci e scambi con la Sardegna, e ciò rappresenta un ulteriore segno dell'importanza di Pianosa come meta e sosta per le rotte mediterranee. Gli Etruschi probabilmente frequentarono l'isola, ma al



Fig. 9 - Sepoltura neolitica nei pressi di località Belvedere. Questa, in particolare, ospitava due scheletri e manufatti (il materiale è conservato nei musei di Reggio Emilia).

momento non sono presenti chiare testimonianze della loro presenza; forse permaseero solo il tempo necessario al suo completo disboscamento. Il legname ricavato servì probabilmente per la fusione del minerale di ferro elbano in fornaci realizzate sul posto lungo la costa. In alcune località è ancora possibile rinvenire le scorie di questa fusione.

L'isola di *Planasia* o *Planaria* è menzionata nelle opere di storici ed eruditi latini, quali Marrone e Tacito. Nel V secolo, Marziano Capella la definisce "ingannatrice dei naviganti". Le prime notizie documentate risalgono all'epoca del secondo triumvirato (43-34 a.C.) e poi al 6-7 d.C. quando l'imperatore Ottaviano Augusto vi esiliò il nipote Agrippa Postumo che lì visse, in ambienti lussuosi, fino al suo assassinio (Fig. 10). Sempre



Fig. 10 - Nel 6-7 d.C. Ottaviano Augusto esiliò in Pianosa, su consiglio della seconda moglie Livia Drusilla, il nipote Agrippa Postumo che qui fu assassinato nel 14 d.C. Il nobile romano disponeva di una lussuosa villa termale dotata di anfiteatro e ricca di decorazioni. Il complesso è oggi detto "Bagni di Agrippa".

del periodo romano è un notevole sistema catacombale (Fig. 11), scavato in due livelli, che si estende sotto gran parte dell'abitato. Notizie sulla catacomba, databile a non oltre il IV secolo d.C. e

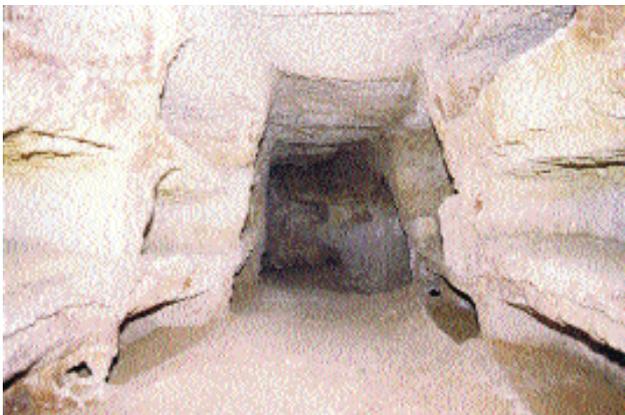


Fig. 11 - Locale di una catacomba, con ai lati le sepolture.

non certo piccola, dato che conteneva più di 500 defunti, sono riportate nello studio di Chierici (1875). Questi ebbe occasione di visitarla nella prima metà del secolo scorso, quando parte di essa era adibita a cantina.

La caduta dell'Impero romano e il conseguente dominio dei barbari pare non aver interessato Pianosa, tanto da supporre che, come la vicina Elba, all'epoca fosse disabitata o quasi.

Dalle cronache si rileva che il 6 aprile 774, presso la basilica di San Pietro a Roma, si svolse un incontro politico fra dignitari e legati di Carlo Magno e del pontefice Adriano I. In questo incontro fu stabilito che l'Italia venisse divisa in due sfere di influenza: quella dei Franchi a Nord, quella della Chiesa nel Centro-Sud e nelle isole (arcipelago compreso). Pianosa e l'Elba fecero parte dell'antica diocesi di Populonia e, in seguito, di Massa e Populonia.

Notizie sull'isola di Pianosa riaffiorano, poi, qua e là nelle cronache municipali delle repubbliche marinare di Pisa e Genova che se ne contesero più volte il dominio (distruggendo a più riprese le fortificazioni dell'isola), forse a causa della posizione strategica. Con Gherardo Appiani, l'isola entrò a far parte del Principato di Piombino, costituito anche dai territori di Suvereto, Scarlino, Buriano, Vignale, Populonia, oltre che dalle isole Elba e Montecristo.

Nel XVI Secolo l'alleanza franco-turca, atta a contrastare il dominio spagnolo sull'area mediterranea dell'imperatore Carlo V, fu tragica per tutto l'Arcipelago Toscano e anche Pianosa soffrì centinaia di vittime. In seguito a questa alleanza, infatti, i corsari saraceni infestarono le coste italiane e spa-



Fig. 12 - Ritratto del feroce corsaro Dragut. Come comandante della flotta "gallo-turca", fu responsabile nel 1553 della più famosa e cruenta incursione saracena subita da Pianosa. Gli invasori fecero numerose vittime, distrussero il paese e condussero in schiavitù oltre duecento persone. Le incursioni si ripeterono fino agli inizi del '700, sempre producendo vittime. A causa di tutto questo sangue versato a Pianosa dagli elbani che vi andavano a coltivare, ancora oggi all'Elba, per indicare il costo elevato di una merce, si usa dire: "costa più dell'orzo di Pianosa".

gnole mettendo ogni terra a ferro e fuoco (Fig. 12).

Cronache varie, ma di poco interesse, coinvolgono l'isola nel XVII e XVIII secolo. Agli inizi del XIX, invece, i territori del Principato di Piombino passarono sotto il dominio francese e il 27 agosto 1802 Napoleone Bonaparte stabilì che Elba, Capraia, Pianosa, Palmaiola e Montecristo fossero riunite al territorio della Repubblica francese. La risposta degli inglesi a questa annessione si con-

cretizzò nella distruzione di Pianosa (Fig. 13). Per quest'isola, essere rasa al suolo sembra quasi un destino: un tempo le cannonate, oggi l'incuria.

Il 4 maggio 1814 Napoleone arrivò in esilio all'Elba. Durante l'esilio l'imperatore si recò due



Fig. 13 - Le case del porto: il paese storico più volte distrutto. L'ultimo episodio risale al 25 maggio 1809, quando due *bricks* ed una fregata britannici sbarcarono 150 fanti di marina che, appoggiati dalle artiglierie delle navi, attaccarono il presidio allora controllato dai francesi, distrussero la torre di difesa e lasciarono l'isola quasi del tutto deserta. La torre era al posto dell'edificio merlato in secondo piano, di cui si vede solo il tetto.

volte a Pianosa trovandola “la più interessante” delle isole vicine. Sotto la sua direzione fu costruita una fortificazione a guardia del porto, presidiata da 100 militari. Napoleone diede a Pianosa un ordinamento militare, civile e religioso; fece inoltre costruire alcuni piccoli edifici per facilitare l'insediamento di coloni, dato che da tempo l'isola era disabitata. L'intenzione era quella di stabilirvi 40 famiglie, esentandole inizialmente dalle tasse ed assegnando loro una porzione di territorio coltivabile, una somma in denaro, bestiame e semenze.

Forse l'imperatore può ancora insegnarci qualcosa per amministrare questo territorio?

Napoleone lasciò l'Elba il 26 febbraio 1815 dando origine ai “cento giorni” e lasciando incompiuti i suoi progetti pianosini.

In base agli accordi stipulati nel 1815 durante il Congresso di Vienna, l'arcipelago venne inglobato nel Granducato di Toscana e vi rimase fino al 1860, quando fu annesso al Regno d'Italia. Fino a

quella data a Pianosa furono tentati progetti di riedificazione-ripopolamento e varie attività agricole.

Nel 1856, a titolo sperimentale fu istituita nell'isola una colonia di correzione per minorenni.

Poco più tardi vi furono relegati, in una sorta di domicilio coatto, i “sovversivi” che attentavano alla sicurezza del governo granducale. Nel 1858 venne istituita “la Colonia Penale agricola della Pianosa” e sull'isola furono inviati i condannati a lunghe pene, tutti destinati ad occuparsi dei lavori nei campi. Attorno al 1880 il carcere ospitava già 960 reclusi.

Sul finire del 1800, soprattutto sotto la direzione del Cav. Ponticelli, l'isola subì un impulso alle edificazioni ed assunse, a grandi linee, l'aspetto attuale. In que-

sto periodo morì a Pianosa l'anarchico Pas-sanante, attentatore di re Umberto I.

Nel 1932 fu “ospite” di Pianosa anche il futuro presidente della Repubblica Sandro Pertini, incarcerato per motivi politici. In quegli anni l'isola era abitata da circa 60 famiglie, una grande e, forse, la maggiore presenza di civili.

Nel 1938 venne installato il primo motore diesel per la produzione di energia elettrica (oggi esiste un collegamento con l'Elba). Così i pianosini vissero, ascoltandoli alla radio, gli avvenimenti dei primi anni del secondo conflitto mondiale.

Nel settembre 1943 l'Isola d'Elba e Pianosa furono invase dai tedeschi ed iniziava un'occupazione, con un presidio di circa 30 uomini, che sarebbe durata nove mesi. I tedeschi vi rimasero fino al 16 giugno 1944, quando dovettero fuggire a seguito dell'“operazione Brassard”, consistente nell'invasione di Elba e Pianosa da parte delle forze golliste francesi. La fine delle ostilità significò il ritorno alla funzione originaria,

cioè luogo di reclusione.

In sintonia con i cambiamenti in atto nel Paese, gli anni '70, definiti "di piombo", segnarono una brusca interruzione nel clima generalmente sereno dell'isola: essa fu trasformata in carcere di massi-

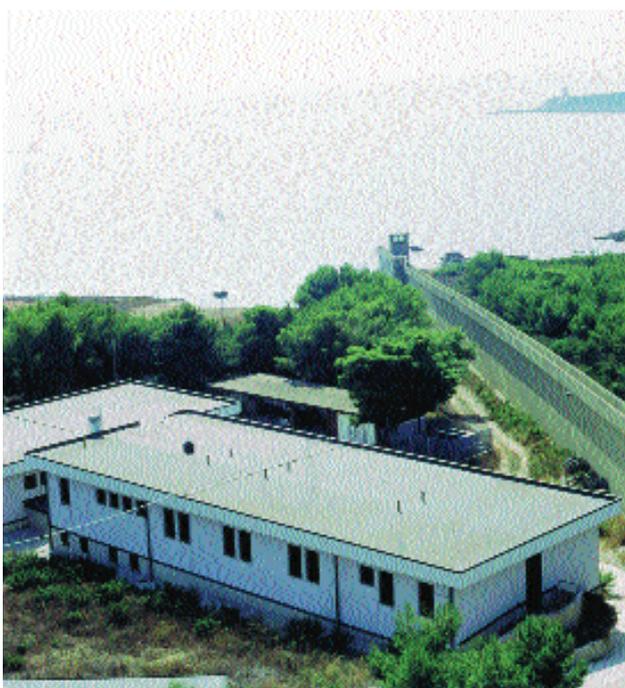


Fig. 14 - Negli anni '70, per volere del Generale Dalla Chiesa una struttura al centro dell'isola fu adibita alla massima sicurezza e riservata ai condannati per terrorismo. Nel 1979, venne portato a termine il nuovo muro di cinta in cemento armato visibile nella foto accanto alla nuova Caserma dei Carabinieri.

ma sicurezza (Fig. 14). Al 1970 risale anche la prima proposta di creazione di un Parco Naturale ad opera del Gruppo di Ricerche Scientifiche e Tecniche Subacquee di Firenze. Purtroppo a questa proposta seguì un lungo silenzio, interrotto soltanto nel 1979 con l'istituzione "sulla carta" di una riserva marina.

Negli anni '80 (Fig. 15) si prospettò l'ipotesi di chiusura del carcere e la restituzione di Pianosa alle autorità civili; in previsione di questa possibilità, il numero dei reclusi venne drasticamente ridotto e cessarono le varie attività. E' da tenere presente che in quegli anni, non esisteva nulla di ufficiale per un eventuale "rilancio" di Pianosa. Il Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, infatti, nato con la legge regionale 67/1988 e con la delibera CIPE del 5/8/88, non comprende-

va Pianosa che rimaneva esclusa, insieme ad Elba e Giglio, anche dalla perimetrazione provvisoria del Parco (pubblicata il 21/7/89 con decreto del Ministro dell'Ambiente) e dalla legge-quadro n.394 del 6/12/91 sulle aree protette.

Nel persistere di questa situazione di stallo, in seguito all'emergenza dettata dagli attentati ai magistrati Falcone e Borsellino, il Governo del tempo decise la riapertura del carcere di massima sicurezza relegandovi detenuti per reati di tipo mafioso. Questa nuova situazione trasformò Pianosa in una fortezza inaccessibile, con rigidissimi divieti di sorvolo e di navigazione nelle acque circostanti. L'emergenza si protrasse fino al luglio 1997, quando l'ultimo detenuto venne trasferito e si ricominciò a parlare di chiusura del carcere. Una chiusura "quasi definitiva" sembrò realizzarsi nell'agosto del 1998, allorché rimasero sull'isola solo poche forze dell'ordine, con compiti di vigilanza alle strutture. Nel frattempo, con decreto del Presidente della Repubblica 22/7/96, venne istituito l'Ente Parco dell'Arcipelago Toscano e Pianosa risultò formalmente inserita nel Parco.

Per la natura e il mare meravigliosi, per il passato ricco di avvenimenti importanti e significativi (difficilmente sospettabile per un territorio così piccolo e isolato), per onorare chi ha vissuto questo passato con passione e per rispettare chi considera l'isola ancora la propria terra, Pianosa va mantenuta e adeguatamente tutelata.



Fig. 15 - Anche se a Pianosa non sono mai mancati avvenimenti importanti e coinvolgenti, particolarmente significativa e commovente fu, agli inizi degli anni '80, la visita di Madre Teresa di Calcutta. Qui Madre Teresa porta conforto alle famiglie.

Oggi, comunque, rispetto e tutela sono ancora ben lontani dall'essere raggiunti .

Dalla dismissione del carcere ad oggi, Pianosa è stata oggetto di numerosi studi e progetti di tutela, valorizzazione e riqualificazione operati dall'Ente Parco ed Enti locali (Laboratorio scientifico didattico, Convento Benedettino, Casa lavoro e Centro di recupero per tossicodipendenti, ecc.). Nessuno di questi, però, ha sortito alcun effetto concreto. Sull'isola non vi sono né proprietà private, né abitanti e, a presidiarla, scarse rimangono le forze

dell'ordine: nel periodo invernale spesso sono presenti solo due agenti di polizia penitenziaria, numero che viene incrementato nel periodo primaverile-estivo, in concomitanza della presenza controllata sull'isola di non più di 200 visitatori giornalieri.

Nonostante che gran parte del patrimonio architettonico sia valido dal punto di vista estetico e soprattutto storico, esso è del tutto in rovina. Sentieri, strade, infrastrutture, acquedotto, pozzi, rete elettrica, depuratore, ecc., tutto è andato o si avvia alla malora in modo irrecuperabile. Le attività turistiche estive sono giornaliere e per il loro svolgimento non sono stati realizzati, e neanche previsti, recuperi e risanamenti. L'Amministrazione Penitenziaria provvedeva a tutti gli interventi e alla manutenzione, ma dalla chiusura del 1998 niente è stato più fatto, se non in modo episodico (Fig. 16).

Le conseguenze dell'abbandono ricadono anche sull'ambiente marino, poiché le poche forze di sorveglianza non riescono a far fronte alle incursioni, particolarmente nel periodo invernale, dei pescatori di frodo che si spingono a "profanare" le acque dell'isola, protette con divieto di navigazione fino ad un miglio dalla costa.

Pianosa, vera occasione di Parco nell'Arcipelago Toscano, osserva oggi il rientro sul suo territorio di un piccolo nucleo di "nuovi" detenuti



Fig. 16 - Per tutto il '900 Pianosa è stata una grande fattoria: ortaggi, frutta, vino, olio, carne, formaggi, latte, tutto veniva prodotto sul posto. E poi c'erano stalle, officine, laboratori, infermerie, ecc. L'isola era praticamente autonoma. Oggi tutto questo non esiste più.

chiamati a sanare lo stato di avanzato degrado dell'isola. Un accordo fra Ministero dell'Ambiente e quello di Grazia e Giustizia ha fatto spazio a questi possibili "salvatori" di Pianosa, che dovranno provvedere ad alcune opere di ristrutturazione e mantenimento. Questo accordo fra ministeri farà tornare il lavoro sull'isola, ma nel contempo testimonia inesorabilmente la sconfitta di Enti locali e nazionali incapaci di dare ai propri cittadini un parco ricco di natura mediterranea, un territorio regolamentato ma libero, con grandi opportunità di lavoro e di arricchimento ambientale e culturale.

Le poche parole scritte sulla storia dell'isola indicano chiaramente che questa è sempre stata abitata e che il lavoro, in particolare quello agricolo, l'ha sempre contraddistinta. Sull'isola, quindi, devono tornare residenti e lavoro; non è necessario costruirvi di nuovo, è necessario solo recuperare l'esistente e dare regole di comportamento a chi vi opererà. Visite e turismo (storico-archeologico-ambientale) contingentato sono il futuro di Pianosa assieme al recupero della vocazione agricola. Non è una soluzione difficile da realizzare; occorrono condizioni collaborative tra Enti, Istituzioni e Ministeri: condizioni, purtroppo, al momento lontane da raggiungere. Non si intravedono orizzonti chiari; tra l'altro, questi sono stati recentemente offuscati anche da ipotesi di vendita. Un'ipotesi, questa, che rappresenta un'ulteriore

scure sul futuro dell'isola e che una società civile dovrebbe combattere con tutti i mezzi.

Testi consigliati

Chierici G (1875) – *Antichi monumenti della Pianosa*, ristampa anastatica a cura di L. Totaro e G. Soria, Ed. CSDE, 1995, Portoferraio, 66 pp.

Colantoni P. & Borsetti A.M. (1973) – *Geologia e stratigrafia dell'isola di Pianosa (Arcipelago Toscano, Mar Tirreno)*. Giorn. di Geologia (2) 39, pp. 287-302.

Colombo M. & Foresi F. (2002) – *Pianosa: uso destinazione e nomi delle strutture principali, delle località costiere, interne e delle strade*, Ed. Amicolibro, tip. Bandecchi e Vivaldi, Pontedera, 56 pp.

Danesi C. (a cura di) (1997) – Atti del convegno di studi: *Pianosa: passato, presente, futuro*. Isola di Pianosa, 16-17 maggio 1997, Ed. CSDE, 1997, Portoferraio, 173 pp.

Ducci S. & Perazzi P. (1998) – *Una testimonianza del Neolitico a ceramica impressa "cardiale" nell'Arcipelago toscano: l'isolotto della Scola presso l'isola di Pianosa (LI)*, Proceedings of the XIII International Congress of Prehistoric and Prohistoric Sciences - Forlì - Italia - 8/14 september 1996, vol. 3, section 9, pp. 425-430.

Ducci S. & Randaccio (2001) – *La preistoria dell'isola di Pianosa alla luce delle recenti scoperte*. Rendiconti della Pontificia Accademia di Archeologia, Roma, Tipografia Vaticana, 2001/2002.

Foresi F. (1999) – *Il Porto di Pianosa. Dall'epoca romana a oggi*, Ed. Nistri-Lischi (collana "Il Tagliamare" num. 55), Pisa, 64 pp.

Foresi F. & Piga P. (2001) – *L'isola di Pianosa. La storia*, Ed. Dibatte (collana "il mare, le isole"), Livorno, 120 pp.

Graciotti R., Foresi L.M. & Pantaloni M. (2004) – *Caratteristiche geomorfologiche dell'Isola di Pianosa*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Ser A, 108, 95-111.

Gruppo Ricerche Scientifiche e Tecniche Subaquee (1970) – *Parco Nazionale Insulare di Pianosa nel Mar Tirreno: Relazione preliminare presentata al Congresso Nazionale "Pianificazione*

territoriale e conservazione del paesaggio vegetale" a cura della Società Botanica Italiana e di "Italia Nostra". Firenze, 19-20 Ottobre 1970, 67 pp.

Mazzei Braschi G. & Foresi F. (2004) – *Pianosa Cent'anni di fotografie*, Ed. Amicoparco, tip. Bandecchi e Vivaldi, Pontedera, 177 pp.

Zuccagni Orlandini A. (1833) – *Topografia fisico-storica dell'Isola di Pianosa del Mar Toscano*, ristampa anastatica a cura di Luigi Totaro e Claudia Danesi, Ed. CSDE, Calenzano 1996, 56 pp.

Siti Internet di interesse per gli argomenti trattati

Sito della Associazione per la Difesa dell'Isola di Pianosa:

<http://www.associazionepianosa.it>

Sito Università di Firenze, Progetto CISIP:

<http://www.storia.unifi.it/%5Fcsde/frpian.htm>

Sito ufficiale del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano:

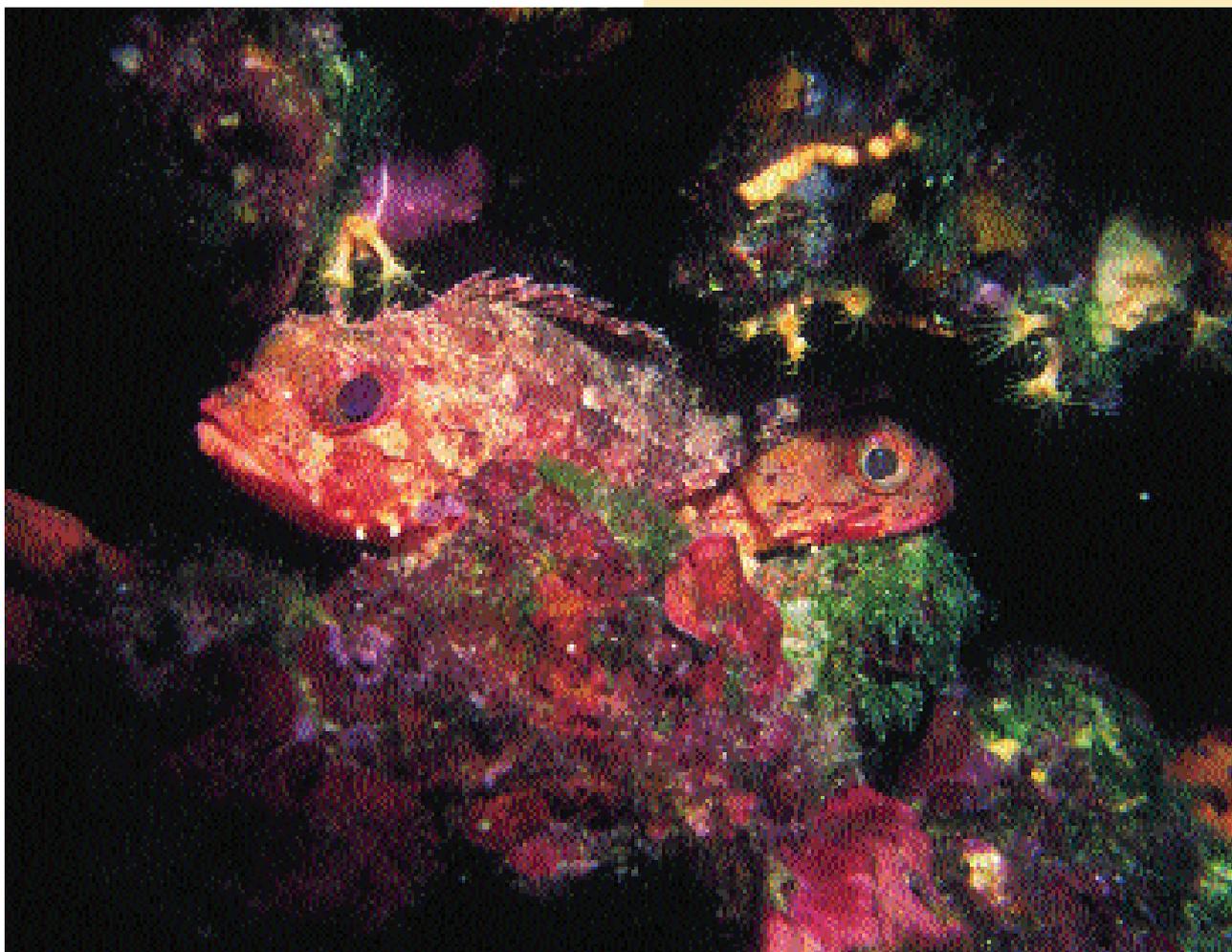
<http://www.islepark.it>

Sito Università di Ferrara, progetti di interesse archeologico:

<http://web.unife.it/progetti/notes/giovanna.htm>

Sito Università di Pisa, progetto Interreg di interesse archeologico:

http://interreg.humnet.unipi.it/ricerche/cal_a_giovanna.htm.



Due esemplari di scorfano rosso (*Scorpaena scrofa*)
fanno capolino nel substrato roccioso del mare
antistante l'Isola di Cerboli
Foto "Il Graffio", Follonica

L'esplorazione geologica dell'Antartide: una finestra sul "motore climatico" del pianeta

Franco Maria Talarico

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra
Via Laterina, 8 – 53100 Siena

Esiste nel nostro pianeta un immenso laboratorio naturale per lo studio dei grandi problemi del futuro. Questo laboratorio è l'Antartide, il continente più affascinante e inesplorato della Terra". Questa frase dello scomparso Prof. Felice Ippolito, primo Presidente del Museo Nazionale dell'Antartide, riassume l'importanza delle ricerche scientifiche in Antartide e, tra queste, quelle geologiche, le quali forniscono dati ed interpretazioni significative per la ricostruzione dell'evoluzione paleoclimatica, di crescente interesse considerati i cambiamenti globali in atto e previsti per il prossimo futuro.

Agli inizi del secolo scorso, i primi esploratori che misero piede sul "continente bianco", trovarono una terra inospitale nella quale sia le aree emerse che i mari circostanti erano invasi da ghiacci perenni e spazzati da venti fortissimi. Una calotta di ghiaccio spessa oltre 4 km e bordata dalla barriera delle Montagne Transantartiche alimentava giganteschi ghiacciai che attraverso le montagne riversavano a mare fiumi di ghiaccio, dai fronti spesso segmentati in iceberg, e con le superfici estremamente crepacciate. Una sorta di corridoi preferenziali, lungo i quali le prime spedizioni si aprirono itinerari comunque molto difficoltosi verso l'altopiano polare per raggiungere le regioni più interne del continente. Ma anche le estreme temperature, con valori di - 60, - 70 °C, non fecero desistere gli esploratori dallo scopo di essere i primi uomini a conoscere e descrivere il più remoto dei continenti del nostro pianeta (Fig. 1).

Interessarsi di Antartide nelle nostre terre accarezzate dal mite clima mediterraneo e su una rivista dedicata a temi del territorio locale quale è **Etruria**natura può

apparire fuori luogo o cosa forse strana o curiosa. Tuttavia l'Antartide, benché così lontana da noi, riveste a scala globale, e quindi anche per le nostre latitudini, un ruolo fondamentale come "motore" del sistema climatico della Terra.

I cambiamenti climatici sono oggi una delle principali sfide socio-economiche ed ambientali del pianeta. Durante l'ultimo secolo la temperatura media sulla superficie terrestre è aumentata di circa 0.6 °C. Nel suo terzo rapporto di valutazio-



Fig. 1 - Capanna presso Capo Evans (Isola di Ross) costruita nel 1911 dalla spedizione inglese *Terra Nova*, comandata dal capitano Robert Falcon Scott.

ne, pubblicato nel 2001, l'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* prevede un ulteriore aumento della temperatura media valutato tra 1.4 e 5.8 °C entro la fine del secolo (Houghton *et al.*, 2001). Tale aumento si ritiene possa avere numerose e preoccupanti conseguenze per l'uomo e le altre specie viventi. Esso provocherebbe, ad esempio, un innalzamento del livello dei mari stimato tra 9 e 88 cm entro la fine del secolo, con grave compromissione di molte aree costiere e delle piccole isole, nonché una maggiore frequenza di eventi meteorologici catastrofici.

Alla luce dell'ormai riconosciuta, sebbene ancora non del tutto compresa, entità dei mutamenti globali in atto, l'Antartide sta oggi assumendo un'importanza crescente per una migliore conoscenza sia del funzionamento del sistema climatico globale, sia di come questo possa modificarsi naturalmente o in seguito ad azione antropica.

Dopo la fase eroica dell'esplorazione polare, le successive spedizioni (dal 1985 in maniera sistematica anche quelle organizzate dal nostro Paese) hanno via via contribuito a svelare i segreti dell'Antartide, il suo dinamismo nascosto ed il suo delicato equilibrio ambientale.

I ghiacci ricoprono l'intero "continente bianco" per oltre il 96% della sua superficie formando una coltre potente in media 2,3 km e con un volume complessivo di circa 26.600.000 km³. Anche se non è facile effettuare stime esatte, tant'è vero che questo è tuttora uno dei temi più "caldi" della ricerca glaciologica, la criosfera antartica sembra essere attualmente in uno stato d'equilibrio, con le precipitazioni nevose che più o meno compensano la perdita di ghiaccio dovuta all'ablazione e ai distacchi di iceberg (Figg. 2, 3). Questa coltre è suddivisa in due principali calotte: una in forma di enorme duomo esteso sull'Antartide-

Orientale ed una molto più piccola nell'Antartide Occidentale. La calotta orientale raccoglie il 90%



Fig. 2 - Icebergs intrappolati nel ghiaccio marino al largo delle Montagne Transantarctiche presso Capo Roberts.

del ghiaccio antartico ed è considerata stabile perché insiste su un substrato continentale; quella occidentale, invece, si ritiene possa risentire con maggiore sensibilità delle eventuali perturbazioni climatiche poiché si appoggia in gran parte su alcune isole e si estende su aree marine con fondali profondi fino a 2 km.

Se l'intero ghiaccio antartico si sciogliesse, questo fornirebbe agli oceani del pianeta una quantità d'acqua tale da far innalzare il livello marino di circa 70 m (6 m nel caso di fusione della sola calotta occidentale). Per avere una migliore percezione dell'entità e dell'impatto di un tale innalzamento, si pensi che la maggior parte delle aree costiere della Toscana andrebbe a costituire



Fig. 3 - Ghiaccio marino in disgregazione nello Stretto di McMurdo (Mare di Ross).

estesi fondali marini e che la sommità della torre di Pisa sarebbe raggiunta solo con una immersione a circa 10 m dalla superficie del mare!

Man mano che si impara di più sulla storia di questa immensa coltre di ghiaccio, diviene sempre più evidente il suo ruolo chiave per le modalità della circolazione globale atmosferica ed oceanica. In inverno, il mare intorno al continente si congela e la superficie del ghiaccio raddoppia fino a raggiungere un'estensione di circa 26 milioni di km² (Fig. 4). Questo processo, oltre a comportare un'ulteriore riduzione dell'assorbimento della radiazione solare con un contributo determinante al raffreddamento del pianeta, ha un ruolo fondamentale per l'attuale circolazione oceanica. Non appena la superficie del mare congela, si verifica un'espulsione del sale, con consumo di energia termica latente, che lascia l'acqua marina sottostante sovraraffreddata e ipersalina (Fig. 5). Quest'acqua, densa e fredda, fluisce verso nord

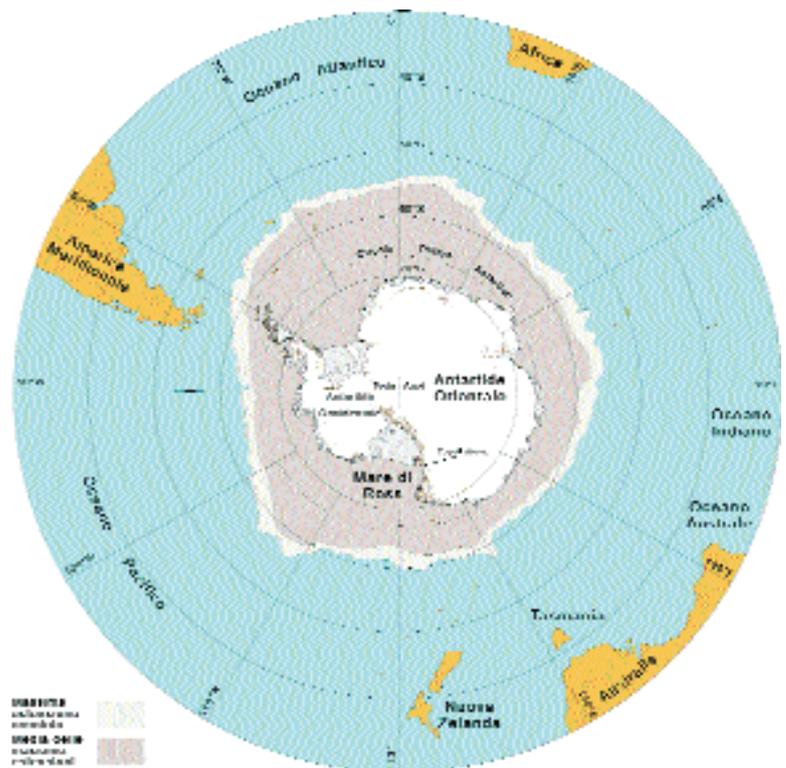


Fig. 4 - L'Antartide con l'estensione massima dei suoi ghiacci marini durante l'inverno australe, le sue due calotte e la localizzazione dei siti di perforazione del Progetto Capo Roberts (Baroni, 2003; modificato).

in profonde correnti oceaniche costeggiando il lato occidentale degli oceani del pianeta, per risalire infine verso la superficie nell'emisfero settentrionale. È in questo modo che si realizzano il millenario ricambio d'acqua degli oceani e la distribuzione globale dei nutrienti. Questo principale pozzo di energia al Polo Sud governa anche la circolazione atmosferica attraverso il gradiente di temperatura esistente tra equatore e regione polare.

Per tale fondamentale ruolo nel sistema climatico globale, scienziati e governi considerano da tempo tra le massime priorità, ed oggi in modo più motivato, quella di finalizzare gli sforzi verso la comprensione e previsione del comportamento dei ghiacci antartici rispetto alle modificazioni di altre componenti del sistema climatico. Queste componenti includono i cambiamenti periodici dei parametri dell'orbita terrestre intorno al Sole, anch'essi in grado di

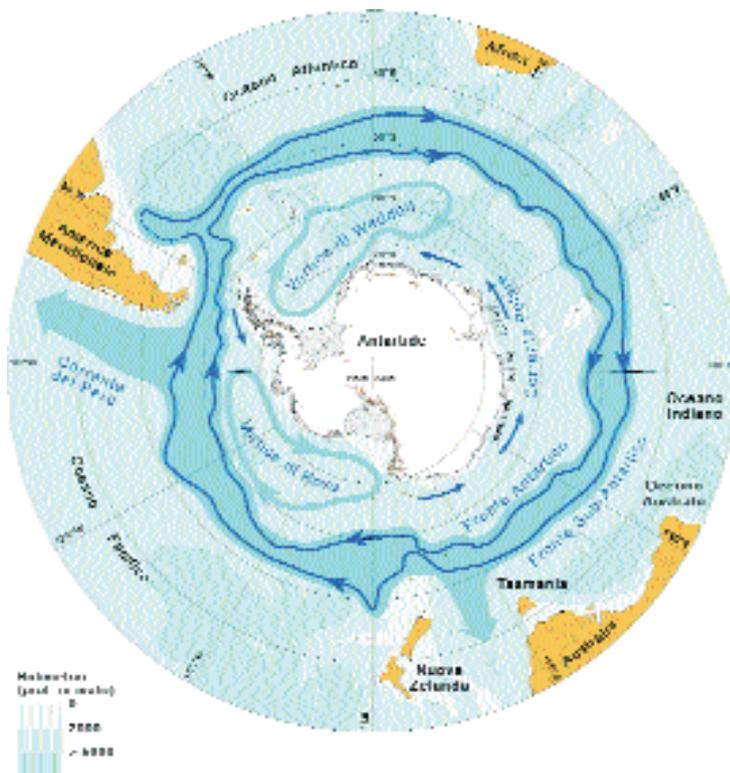
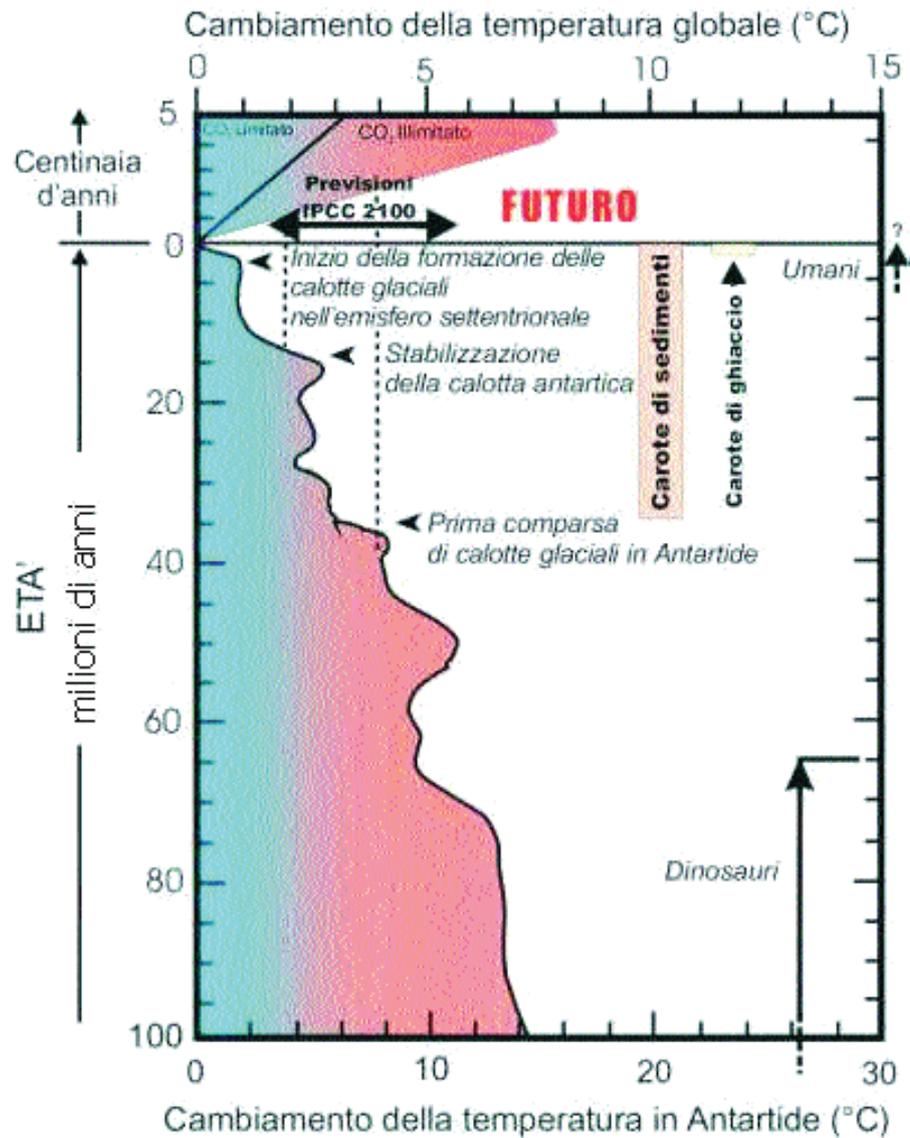


Fig. 5 - Circolazione oceanica superficiale nell'area antartica, in relazione con la topografia dei fondali (da Baroni, 2003).

Fig. 6 - Confronto fra i cambiamenti della temperatura del passato – basati sulle variazioni della composizione isotopica dell'ossigeno nei gusci dei foraminiferi nei sedimenti oceanici - con quelli previsti nel futuro in conseguenza dell'aumento dell'effetto serra, secondo le ipotesi formulate dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (da Barrett, 2001b). La curva degli ultimi 100 milioni d'anni mostra una diminuzione più o meno continua della temperatura globale di circa 7 °C (equivalente ad una diminuzione di 14 °C nella regione antartica). La curva nel futuro mostra una previsione dell'aumento della temperatura con due diversi scenari: il primo "limitato", con emissioni di CO₂ in atmosfera contenute al livello del 1990; il secondo "illimitato", con emissioni di CO₂ senza restrizioni. Quest'ultimo percorso, che stiamo seguendo, indica che la temperatura alla fine del 2100 sarà paragonabile a quella di 12-13 milioni d'anni fa e quella del 2200 a quella di 35 milioni d'anni fa. Il punto intermedio della previsione dell'IPCC (Houghton *et al.*, 2001) indica che queste condizioni potrebbero essere raggiunte già alla fine di questo secolo. La figura, inoltre, riporta i tempi della prima comparsa e della stabilizzazione delle calotte nei due emisferi e l'intervallo di tempo nella storia della Terra che può essere investigato mediante perforazioni di sedimenti e di ghiaccio. Le analisi isotopiche sulle carote di ghiaccio ricavate dalla perforazione profonda effettuata nel plateau antartico presso la Stazione Vostok, testimoniano che nel corso dell'ultimo ciclo glaciale la variazione di temperatura in Antartide è stata pari a circa due volte (10°C) quella stimata per le altre località del pianeta. Ciò conferma il risultato dei modelli climatici che riconoscono l'alta sensibilità delle regioni polari ai cambiamenti della temperatura globale.



indurre mutamenti climatici.

La modellizzazione di questo complesso sistema al persistere e alla potenziale intensificazione del riscaldamento globale è molto difficile, soprattutto perché gli studiosi non hanno ancora raccolto i dati necessari per comprendere in dettaglio il comportamento naturale del sistema Terra. Una possibile soluzione del problema può venire dalla ricostruzione in dettaglio della storia geologica della Terra negli intervalli di tempo durante i quali il clima è stato più caldo di quello attuale e simile a quello che si ipotizza per i prossimi secoli (Fig. 6). Le indagini sulle variazioni della composizione isotopica dell'ossigeno registrate nei sedimenti

dei fondali oceanici ci permettono di riconoscere questi intervalli assicurando quindi una migliore focalizzazione delle stesse.

La maggior parte dell'ossigeno è presente nell'acqua marina e nel vapore acqueo con due isotopi: il comune ossigeno "leggero" con 16 neutroni (¹⁶O) ed il suo più raro fratello "pesante" con 18 neutroni (¹⁸O). Non appena l'acqua evapora o il vapore condensa, i due isotopi subiscono un frazionamento: il più pesante rimane preferenzialmente nell'acqua, mentre il più leggero si concentra nel vapore (Fig. 7).

I foraminiferi planctonici (Fig. 8), protisti presenti nei livelli superiori della colonna d'acqua

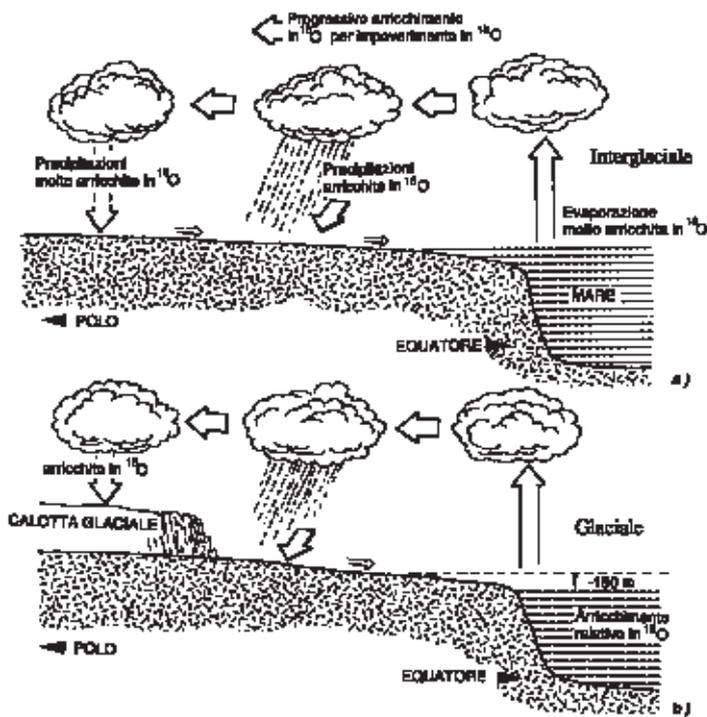


Fig. 7 - Schema del processo di frazionamento degli isotopi dell'ossigeno: a) durante i periodi interglaciali, l'acqua delle precipitazioni nelle regioni polari, pur arricchita in ^{16}O , torna al mare e non si verifica alcuna variazione significativa del rapporto tra i due isotopi negli oceani; b) durante i periodi glaciali, l'acqua arricchita di ^{16}O viene sequestrata nelle calotte glaciali e, conseguentemente, gli oceani si arricchiscono in ^{18}O (da Raffi e Serpagli, 2001).

marina, per la costruzione dei loro gusci assimilano l'ossigeno incorporandolo con calcio e carbonio in forma di carbonato di calcio; in tal modo ne registrano fedelmente il grado di frazionamento isotopico. L'accumulo dei foraminiferi sul fondo marino contribuisce alla costituzione della successione sedimentaria, divenendo così un archivio

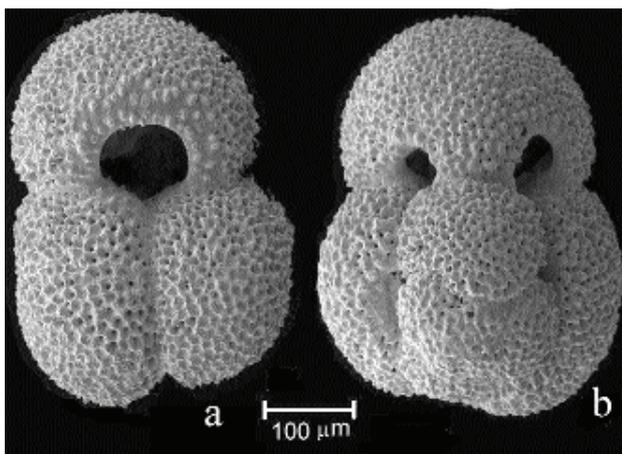


Fig. 8 - Esempio in vista ombelicale (a) e spirale (b) di *Globigerinoides subquadratus*, foraminifero planctonico che durante il Miocene viveva nella fascia più superficiale oceanica (foto di L.M.Foresi). La specie è spesso utilizzata per l'analisi della variazione della composizione isotopica dell'ossigeno.

prezioso delle variazioni della temperatura media globale nel tempo.

Questo archivio fornisce una chiara indicazione che temperature medie globali più alte di quelle attuali sono documentate nel passato fino ad almeno 2 milioni di anni fa; quindi, i geologi devono guardare indietro almeno a quel tempo per determinare il comportamento della criosfera sottoposta a livelli di riscaldamento comparabili a quelli previsti per un futuro neppure troppo remoto.

Tra le regioni di maggiore interesse per questi studi, quella antartica è in particolare evidenza potendo fornire, attraverso la ricostruzione della sequenza di fasi di contrazione ed espansione delle sue due calotte, informazioni dirette sulla risposta della criosfera alle variazioni climatiche globali.

Studiare gli ultimi milioni di anni dell'evoluzione geologica dell'Antartide è estremamente difficile per la presenza dell'attuale coltre di ghiaccio che copre gran parte della superficie ed ha eroso e asportato parte delle sequenze sedimentarie più antiche durante i periodi di massima glaciazione. Un'ottima sorgente di dati è tuttavia fornita dalle serie sedimentarie di alcune aree costiere lungo la piattaforma continentale, le quali possono essere campionate mediante perforazione.

Il Progetto Cape Roberts, una iniziativa internazionale di USA, Italia, Nuova Zelanda, Australia, Germania e Regno Unito, ha utilizzato il ghiaccio marino che si estende sull'Oceano Antartico come piattaforma per il sistema di perforazione (Figg. 9, 10). I sondaggi di questo progetto, realizzati in tre stagioni successive negli anni 1997-1999, hanno attraversato le sequenze sedimentarie presenti al di sotto del fondo marino 15-20 km al largo della costa del Mare di Ross.

Utilizzando una tecnologia normalmente impiegata per i sondaggi a terra, il progetto ha permesso il recupero, in tre pozzi, di oltre 1500 m di carote (Fig. 11). Queste rappresentano un campionamento pressoché continuo di una sequenza sedimentaria glacio-marina, sopravvissuta all'erosione legata alle ultime avanzate della calotta in quanto accumulatasi in un bacino a diverse centinaia di



Fig. 9 - La torre di perforazione del Progetto Capo Roberts (in alto a sinistra l'Erebo, il vulcano attivo più meridionale della Terra).

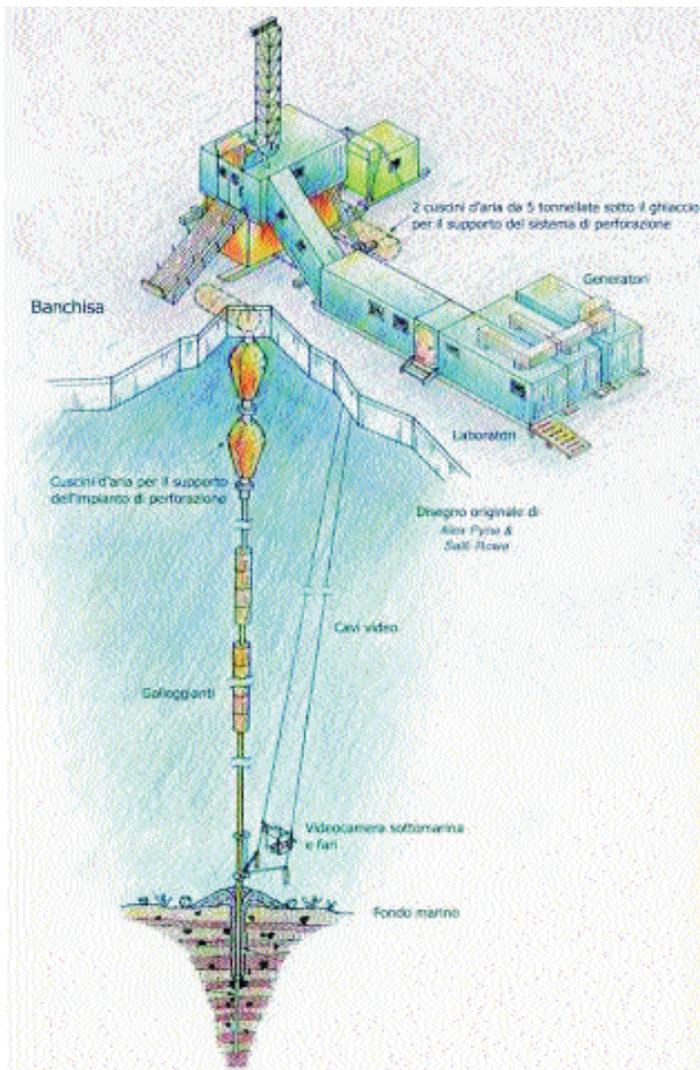


Fig. 10 - Sistema di perforazione utilizzato nel Progetto Capo Roberts (dal disegno originale di Alex Pyne & Salli Rowe in Barrett, 2001b). Una volta montata la torre di perforazione, un tubo d'acciaio è calato e cementato sul fondo marino. Per ridurre il carico del sistema sulla banchisa sono impiegati cuscini d'aria e vari tipi di galleggianti. Il sistema di perforazione opera all'interno del tubo d'acciaio e le carote di sedimento sono estratte dall'interno del carotiere, recuperato con un cavo ogni 3 metri di perforazione.

metri sotto il livello del mare. Inoltre, questo bacino ha rappresentato una sorta di trappola per i sedimenti erosi dalle adiacenti Montagne Transantartiche dai ghiacciai recenti e del passato, registrando così le loro fasi di avanzata o ritiro connesse, rispettivamente, con i periodi climatici freddi o caldi.

Queste carote documentano in modo indiscutibile che nel Miocene inferiore (circa 23 milioni di anni fa) in Antartide faceva molto più caldo di oggi. Grandi calotte, che alimentavano ghiacciai val-livi, si formavano e regredivano ciclicamente con la stessa periodicità e frequenza delle variazioni dei parametri orbitali del nostro pianeta (cicli di 40.000-100.000 anni) (Figg. 12, 13). Di rilievo, il fatto che le fasi di deglaciazione risultano essere state molto più rapide di quelle di glaciazione. Questa è la prima evidenza geologica diretta di un comportamento dinamico della calotta glaciale antartica e della sua influenza sulla circolazione oceanica e sul livello marino globale. Altri dati, più problematici, sembrano indicare che in tempi più recenti (circa 3 milioni di anni fa) la calotta si sia ridotta pressoché a metà della sua estensione attuale, con un conseguente innalzamento del livello marino di circa 30 metri. Numerosi geologi ritenevano che in questo periodo di tempo la calotta fosse stabile e relativamente inerte rispetto a tali gradi di cambiamento.

Malgrado queste recenti scoperte siano assai promettenti, a tutt'oggi è stato documentato solo un modesto 10% degli ultimi 60 milioni di anni della storia climatica e dell'evoluzione glaciale antartica. Un nuovo programma di perforazioni, ANDRILL, recentemente concordato tra USA, Nuova Zelanda, Germania e Italia, cercherà di colmare una parte significativa delle lacune nella conoscenza paleoclimatica, con implicazioni sicuramente preziose per una



Fig. 11 - Una fase di studio iniziale delle carote di sedimenti glacio-marini presso il sito di perforazione del Progetto Capo Roberts. È ripreso un geologo strutturale mentre analizza la disposizione dei sistemi di fratture per ottenere informazioni sulla storia della deformazione nel bacino sedimentario.

migliore comprensione dei cambiamenti globali.

Testi citati e di approfondimento

Baroni C. (2003) – *Antartide, terra di scienza*. Terra Antartica Publication, Siena, 280 pp.

Barrett, P.J. (2001) – *Climate Change: an Antarctic Perspective*. NZ Science Review, 58, 18 - 23.

Barrett, P.J. (2001b) – *Progetto Antartide, che caldo fa*. Technology Review, 14 (6), 54-59.

Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K. & Johnson C.A. (2001) – *Climate Change 2001: the Scientific Basis (Third Assessment Report from IPCC Working Group I)*. Cambridge University Press, Cambridge, 944 p.

Naish T.R., Woolfe K.J., Barrett P.J., Wilson G.S., Atkins C., Bohaty S.M., Bücker C.J., Claps M., Davey F.J., Dunbar G., Dunn A. G., Fielding

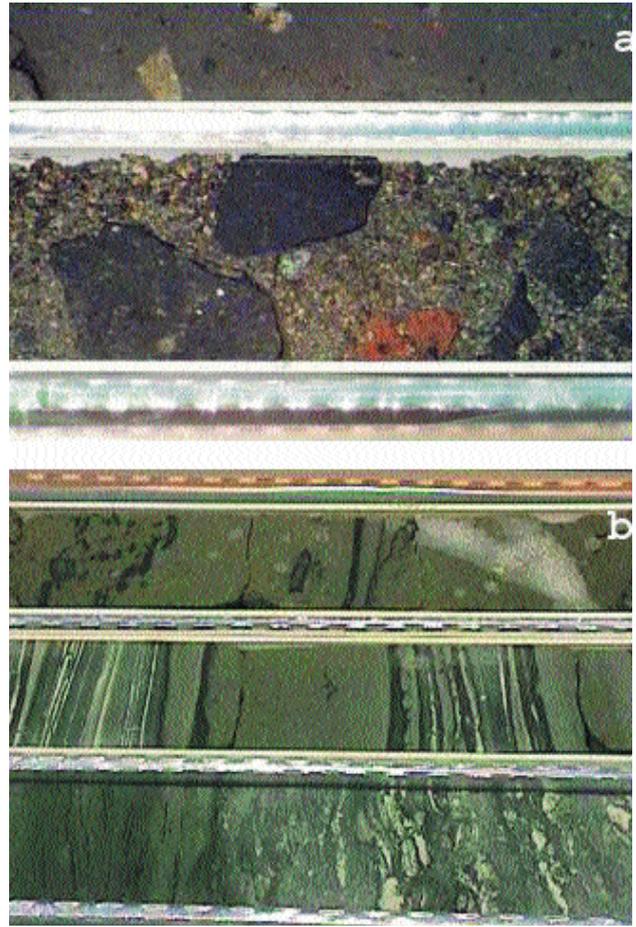


Fig. 12 - (a) Diamictiti: ciottoli di graniti e doleriti a spigoli vivi documentano sia lo smantellamento di originarie catene montuose che il carattere glaciale del deposito. Queste rocce rappresentano l'evidenza diretta di 48 cicli di avanzata e ritiro della calotta glaciale nell'area di Capo Roberts tra 34 e 17 milioni di anni fa. (b) Livelli a laminazioni sottili ricchi in minerali argillosi (prevalente smectite): queste rocce testimoniano gli stadi interglaciali a clima relativamente più temperato.

C.R., Florindo F., Hannah M.J., Harwood D.M., Watkins D.K., Henrys S.A., Krissek L.A., Lavelle M., van der Meer J., McIntosh W.C., Niessen F., Passchier S., Powell R., Roberts A.P., Sagnotti L., Scherer R. P., Strong C.P., Talarico F., Verosub K.L., Villa G., Webb P-N. & Wonik T. (2001) – *Orbitally induced oscillations in the East Antarctic Ice Sheet at the Oligocene-Miocene boundary*. Nature, 413, 719-723.

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 Antartica, 5(3), 341-351.

Raffi S. & Serpagli E. (2001) – *Introduzione alla Paleontologia*, UTET, Torino, 654 p.

Risultati del Progetto Cape Roberts: volumi 5, 6, 7, 8, della rivista Terra Antartica

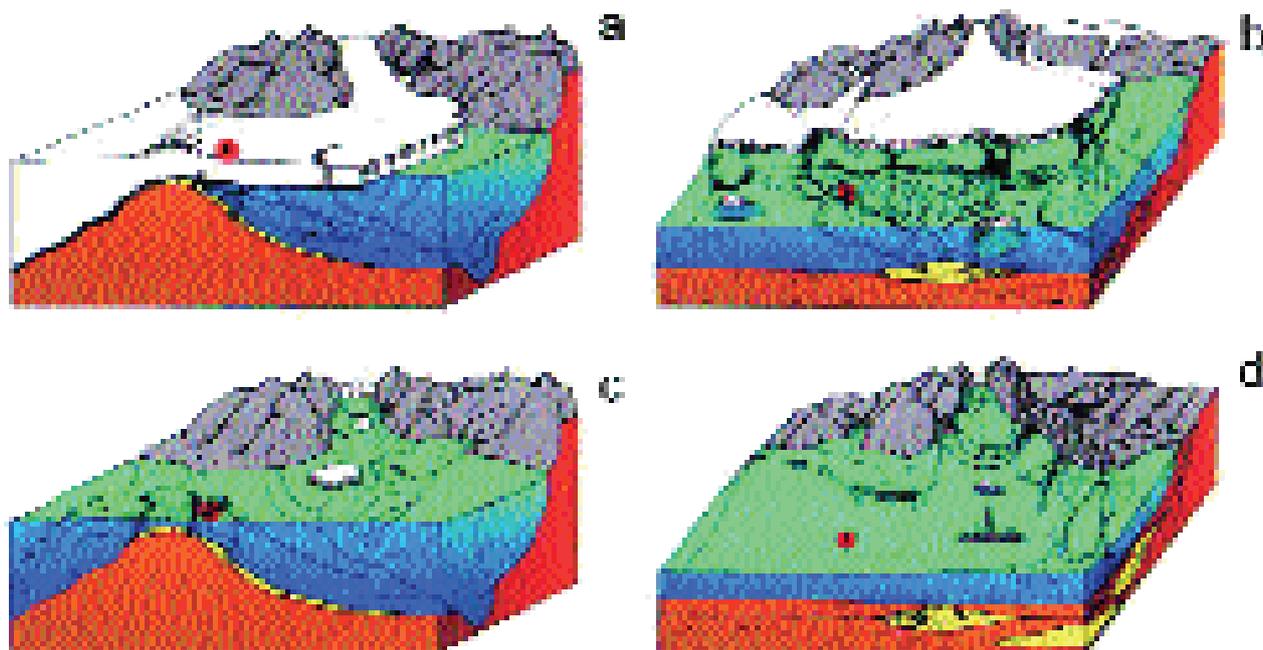


Fig. 13 - Scenari paleogeografici dell'area di Cape Roberts nel Quaternario (a, c) e nel Miocene (b, d) (da Powell *et al.*, 1998, modificato). Per meglio evidenziare le caratteristiche del fondale marino, le illustrazioni non sono state eseguite in scala. Il sud geografico è verso sinistra. La posizione del sito di perforazione è evidenziata dal cerchio rosso. (a) *Fase di avanzata dei ghiacciai nel Quaternario*: il ghiaccio poggia direttamente sul sito di perforazione, ove rilascia spessi accumuli di diamictiti (in giallo), ed è alimentato sia da ghiacciai vallivi sia da una piattaforma di ghiaccio proveniente da Sud. (b) *Fase di avanzata dei ghiacciai nel Miocene*: i ghiacciai si estendono occasionalmente anche oltre il sito di perforazione; si noti, inoltre, che il fondale in corrispondenza dei sondaggi non fa parte di un rilievo topografico, come negli scenari nel Quaternario (a, c), dovendo tale rilievo la sua formazione a movimenti tettonici più recenti. (c) *Fase di ritiro dei ghiacciai nel Quaternario*: i ghiacciai sono arretrati nei fiordi e soltanto rari *icebergs* raggiungono il sito di perforazione, rilasciandovi scarsi ciottoli. (d) *Fase di ritiro dei ghiacciai nel Miocene*: i ghiacciai sono confinati alle testate delle valli e la maggior parte dei sedimenti che si depositano al largo dei fiordi sono trasportati da fiumi e costituiti da limi sabbiosi e argille, con sporadici ciottoli rilasciati dagli *icebergs* alla deriva.

Siti internet di interesse per gli argomenti trattati

ANDRILL:

<http://andrill-server.unl.edu/>

Museo Nazionale dell'Antartide:

www.mna.it

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):

www.ipcc.ch

Progetto Cape Roberts:

www.geo.vuw.ac.nz/croberts

Programma di ricerche in Antartide:

www.pnra.it/

Terra Antartica Publications:

www.mna.it/italiano/Editoria/TAP/tap.html

Il Museo Paleontologico dell'Accademia Valdarnese del Poggio a Montevarchi

Michele Sani

Museo Paleontologico dell'Accademia Valdarnese del Poggio
Via Poggio Bracciolini, 40 - 52025 Montevarchi (Ar)

L'origine, la storia, la raccolta

Il Museo Paleontologico di Montevarchi, di proprietà dell'Accademia Valdarnese del Poggio, è collocato nei locali di un ex convento, in via Poggio Bracciolini n. 40 in Montevarchi (Ar).

Il nucleo originario della collezione paleontologica fu costituito nei primi del 1800, oltre duecento anni or sono, da una raccolta donata dal Monaco di Vallombrosa Luigi Molinari. Nel 1810 il fondatore della paleontologia moderna, il francese Georges Cuvier, venne in Valdarno per studiare questi primi reperti che erano allora conservati in alcuni locali dei minori Francescani in Figline Valdarno. Successivamente la raccolta, assieme alla sede dell'Accademia Valdarnese del Poggio, fu trasferita nei locali attuali di Montevarchi. Nel periodo fra il 1873 e il 1880, Paolo Marchi di Firenze e C.J. Forsyth Mayor di Glasgow classificarono i settecentotrentadue (732) reperti fino allora raccolti e compilarono il relativo catalogo. Fu poi Giovanni Capellini, bolognese, senatore del Regno, illustre geologo e paleontologo, che qualche decennio più tardi completò definitivamente la classificazione.

Dopo la morte di Capellini, avvenuta nel 1922, si ebbe un periodo di circa sessanta anni, caratterizzato anche da momenti oscuri, fino al nuovo corso apertosi nel 1980 con la presidenza

dell'Accademia di Guido Di Pino e con il ruolo di conservatore ricoperto da Giovanni Billi. Quest'ultimo, nei venti anni di lavoro al Museo, ha dato un nuovo impulso all'attività, contribuendo in modo significativo a far conoscere localmente, ma anche ai paleontologi di tutto il mondo, con grande disponibilità, competenza e dedizione, l'esistenza di questo meraviglioso patrimonio storico e scientifico.

Nelle vetrine delle tre gallerie (Figg. 1, 2) sono esposti oltre 1600 tra fossili vegetali e animali, quasi tutti provenienti dal Valdarno Superiore. Più precisamente, il museo raccoglie 1601 resti fossili (o meglio cartellini identificativi – i reperti sono molti di più) di cui 1353 rappresentati da mammiferi, 145 da vegetali, 23 da molluschi. 55 reperti appartengono invece ad altre categorie (rocce, minerali, manufatti litici, fossili di uccelli, di rettili, di pesci). Purtroppo al momento dell'ultimo



Fig. 1 - La prima galleria del museo, interamente dedicata ai proboscidiati.



Fig. 2 - La seconda galleria del museo, nella quale spicca in primo piano lo scheletro compilato di un elefantide della specie *Mammuthus meridionalis*.

inventario esistente, che risale al 1986, risultavano mancanti 25 reperti dei quali si è perso ogni traccia (in effetti i cartellini sono ancora oggi presenti nelle vetrine, ma il reperto è assente e non sappiamo dove si trovi).

Attualmente il materiale è collocato, con una sistemazione di epoca ottocentesca, in 40 vetrine e su 36 supporti posti in tre gallerie. L'allestimento, dal notevole valore storico, è affascinante ed è caratteristico di un modo di presentare il museo proprio di epoche passate; a ragione, possiamo definirlo "un museo del museo". Tutti i cartellini, anch'essi di epoca ottocentesca riportano, di regola, il nome del fossile, il luogo e l'anno di ritrovamento e la dicitura "Pliocene lacustre" poiché quando il museo fu ordinato nell'attuale sistemazione, si riteneva che i terreni lacustri valdarnesi fossero tutti di quell'epoca.

Evoluzione geologica del Valdarno Superiore

Dal punto di vista geologico il Valdarno Superiore si è formato ed evoluto in un periodo di circa 3 milioni di anni, molto breve rispetto ai tempi geologici ed all'età del pianeta. Per comprendere il rapporto temporale basta fare un sem-

plice raffronto: se equiparassimo la durata della vita sulla Terra (circa 3,5 miliardi di anni) ad un anno solare (365 giorni) il Valdarno Superiore si sarebbe originato alle 18 e cinquanta del 31 dicembre. Dunque, seppure in breve tempo, in un ambiente sedimentario di tipo continentale (fluvio-lacustre), si sono succedute alcune fasi che hanno permesso, tra gli altri, la fossilizzazione di un enorme quantitativo di resti animali e vegetali, predisponendo

un patrimonio fossilifero che oggi è raccolto e studiato da scienziati di tutto il mondo. La fossilizzazione è un evento raro: in genere gli esseri viventi, dopo la morte, si decompongono e solo un fatto eccezionale può provocare quel fenomeno che permette oggi di studiare animali e piante del passato.

A partire dal Pliocene superiore e continuando fino ad oggi si sono succedute alcune fasi evolutive, che possono essere riassunte come segue:

- **individuazione del Valdarno Superiore** come piccola depressione all'interno della dorsale appenninica che si stava formando e che era emersa dal mare (il substrato pre-lacustre, che possiamo vedere affiorante nel Pratomagno e nei Monti del Chianti, si è appunto originato alcune decine di milioni di anni fa in un fondale marino abbastanza profondo);

- **formazione di uno o due limitati bacini fluvio-lacustri** in condizioni climatiche caldo-umide, con una prima fase caratterizzata da una torbiera, una seconda con acque un po' più profonde e una terza di chiusura della fase sedimentaria (prima fase sedimentaria, detta di Castelnuovo – Pliocene medio);

- **lacuna nella sedimentazione** di durata ancora sconosciuta (sono state fatte solo alcune ipotesi), con fase tettonica ed erosiva, ampliamento del bacino fino ad una dimensione molto simile a

quella odierna ed aumento della quota del Pratomagno e dei Monti del Chianti

- **individuazione di vaste aree lacustri** con sedimentazione fluviale, clima più temperato, ambiente tipo savana e presenza di numerosissime specie animali (seconda fase sedimentaria detta di Montevarchi – Pliocene terminale – Pleistocene inferiore). Ai lati del bacino, ma con maggiore enfasi dalla parte del Pratomagno, si formano grossi apparati sedimentari con i materiali che i corsi d'acqua trasportano dai rilievi montuosi verso valle: si tratta in parte dei terreni che oggi costituiscono le famose balze del Valdarno;

- **lacuna nella sedimentazione** per attività tettonica;

- **fase fluviale**, con la nascita dell'Arno che inizia a scorrere nel Valdarno Superiore in direzione nord e con drenaggio simile all'attuale. In questa fase il clima si alterna tra caldo e freddo e i fossili rinvenuti dimostrano di essere adattati alle varie fasi climatiche (terza fase sedimentaria detta di Monticello – Pleistocene superiore);

- **fase erosiva**, in cui l'Arno, con il contributo dei suoi affluenti, demolisce e trasporta a valle una grandissima parte dei sedimenti che aveva deposto nel Valdarno Superiore. Questo processo conferisce all'intera area l'aspetto di oggi, con le spettacolari balze, le dolci colline argillose e la pianura alluvionale centrale.

La fase sedimentaria più interessante dal punto di vista paleontologico è la seconda: in questi terreni sono stati trovati i più bei fossili conservati nel Museo Paleontologico di Montevarchi e presenti anche nei musei di gran parte dell'Europa, ad iniziare da quello di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze. Il Valdarno Superiore è ritenuto, a ragione, la località in cui si ha la maggiore abbondanza di fossili di mammiferi terrestri del Pleistocene inferiore.

I fossili vegetali

La prima fase sedimentaria del Valdarno Superiore, nella quale si è avuta l'evoluzione della torbiera che ha prodotto l'importante giacimento di lignite coltivato nella miniera di Santa Barbara, è quella dalla quale provengono i reperti vegetali

(Fig. 3). Si tratta di frammenti di tronchi, rami, foglie, fiori e frutti quasi tutti fossilizzati per carbonizzazione. L'età corrisponde al Pliocene medio (circa 3 milioni di anni). I resti fossili presenti nei terreni della prima fase sedimentaria del Valdarno Superiore sono molto abbondanti e si possono raccogliere ancora oggi con grande facilità.

Nelle vetrine del museo (dalla n. 1 alla n. 6) si trovano, fra le altre, foglie di felce, sequoia, magnolia, quercia, ontano (*Alnus*), platano, alloro (*Laurus*), albero della canfora (*Cinnamomum*); vi sono poi varie specie di pino, abete, frutti di ontano, noce (*Juglans*) e molti frutti non identificati. Fra i campioni di lignite spicca una ricca collezione della vite fossile che indica che nel Chianti le caratteristiche pedoclimatiche erano adatte alla crescita di questa pianta già nel Pliocene superiore.

La disposizione dei reperti vegetali nelle vetrine del museo non ha un ordine preciso ma nei terreni in cui essi vengono rinvenuti si osserva che dal basso verso l'alto l'associazione floristica ha un andamento tipico. Nei terreni inferiori, e dunque più antichi, sono abbondanti *Taxodium*, *Alnus* e *Laurus*. Salendo nella serie, e dunque in terreni relativamente più recenti, compaiono *Quercus*, *Ulmus*, *Liquidambar*, *Juglans*. La porzione superiore è poi caratterizzata da una predominanza di *Pinus*, *Picea*, *Abies* e *Fagus*. Appare dunque evidente un progressivo raffreddamento del clima che dalla fase della torbiera (caldo umido) si è andato via via deteriorando.



Fig. 3 - Una foglia di *Platanus aceroides*.

I fossili animali

La prima fase deposizionale del Valdarno Superiore non è ricca di fossili animali ed infatti solo tre reperti del museo provengono dal bacino minerario in cui affiorano detti terreni: si tratta di un frammento di lignite con denti di tapiro (*Tapirus arvernensis* – vetrina n. 10) e di due molari (Fig. 4) di mastodonti (*Mammuth borsoni* e



Fig. 4 - Un molare del mastodonte *Anancus arvernensis*.

Anancus arvernensis). Il primo animale testimonia la presenza in questa fase di specie adattate ad un ambiente tipicamente di foresta caldo-umida (la sua dentizione denota che si nutriva di fogliame tenero e di piante acquatiche).

La scarsità dei resti di animali nei terreni del bacino minerario viene spiegata con un loro scioglimento per dissoluzione. A conferma di questa ipotesi viene portato il ritrovamento di un minerale piuttosto raro nel mondo, ma relativamente abbondante nell'area valdarnese, denominato anapaite (fosfato idrato di calcio e ferro – $\text{Ca}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Un campione di questo minerale, consistente in abbondanti cristalli che circondano una breccia ossifera, si trova nel corridoio di ingresso del museo.

Dalla prima fase di sedimentazione proviene anche la maggior parte dei fossili di invertebrati,

rappresentati da varie specie di molluschi d'acqua dolce.

I resti provenienti dalla seconda fase di sedimentazione (detta di Montevarchi) sono circa un migliaio (Figg. 1, 2, 5, 6), risultano fossilizzati per mineralizzazione ed appartengono al Pleistocene inferiore.

Si tratta di resti di scimmie (*Macaca florentina*), proboscidi (*Mammuthus meridionalis*), ippopotami (*Hippopotamus antiquus*), cinghiali, buoi, cervi, rinoceronti (*Stephanorhinus etruscus*), cavalli, lupi, orsi, pantere, iene (delle quali si conservano anche i coproliti), felini dai denti a sciabola (Fig. 6), istrici, lepri, castori. Nel complesso si tratta di una fauna del tipo oggi vivente nella savana africana, con grandi erbivori ed agili predatori. Questa associazione faunistica indica che allora regnava un clima più temperato di quello dell'epoca della lignite.

Vari resti sono in ottimo stato di conservazione e risultano caratterizzati da notevoli dimensioni. I due crani di istrice (*Hystrix etrusca* - vetrina n. 14) sono pezzi unici al mondo. Il cranio di lupo della vetrina n. 17 è l'olotipo di *Canis etruscus*, ossia il reperto al quale si fa riferimento per l'identificazione dei fossili appartenenti a questa specie.

La terza fase di sedimentazione, detta di Monticello, è abbastanza interessante e ben rappresentata da fossili animali. Nelle vetrine n. 11 e n. 12 e nel ripiano collocato fra di esse (Fig.7), si trovano i reperti provenienti dai terreni in questione. Tra i più interessanti possiamo notare un cranio di bisonte (*Bison priscus*) e due crani di bue selvatico (*Bos primigenius*), detto anche uro, dal quale sono state ottenute tutte le forme bovine domestiche. Tra gli altri reperti sono presenti il rinoceronte emiteco (*Stephanorhinus hemiteochus*), l'orso speleo (*Ursus speleaus*), il lupo, il cervo, il cavallo selvatico (*Equus ferus*) e l'elefante eurasiatico (*Palaeoloxodon antiquus*), caratterizzato da lunghe difese diritte e tipico degli episodi interglaciali, che quando il clima si faceva più rigido veniva sostituito dal *Mammuthus primigenius*, meglio noto come mammoth lanoso. Questi ultimi reperti sono relativamente recenti, appartenendo al Pleistocene superiore (200-300.000 anni).



Fig. 5 - Bacino di un esemplare femminile di *Mammuthus meridionalis*, nella seconda galleria del museo.

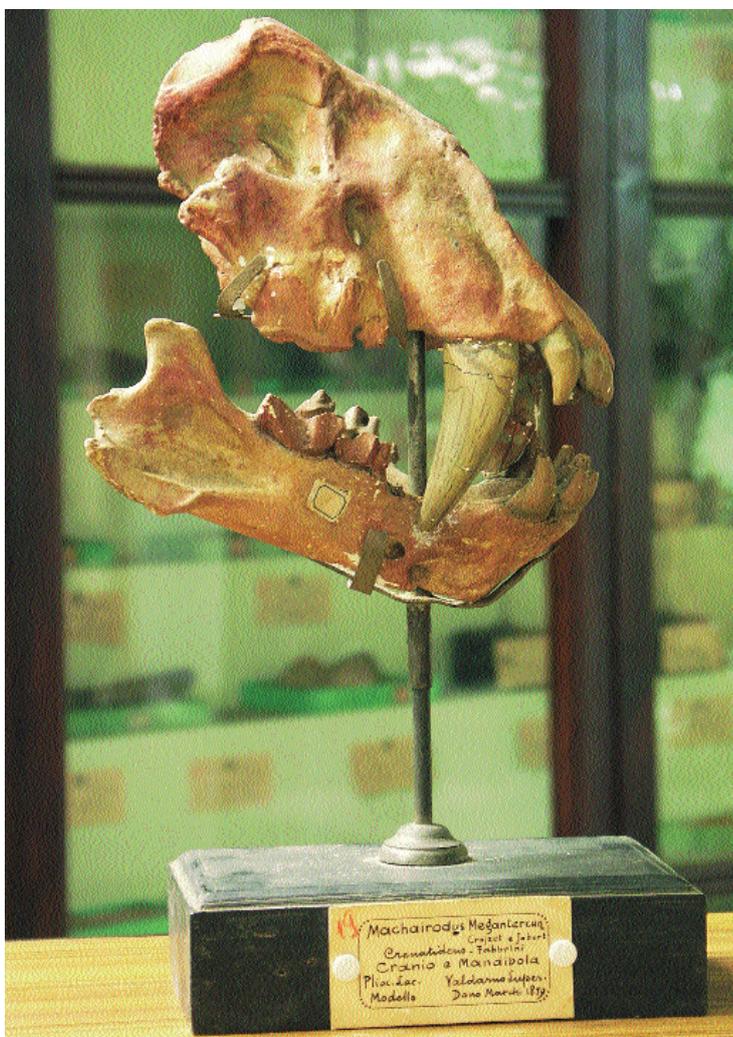


Fig. 6 - Calco di cranio del felino dai denti a sciabola *Homotherium crenatidens* (l'originale è conservato presso il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze).

Gli scopi del museo e l'attività in corso

Le tre principali funzioni di un museo come quello di Montevarchi sono la conservazione, la ricerca, la didattica.

Lo scopo conservativo (non a caso la figura responsabile del museo è detta Conservatore) è sicuramente fondamentale in quanto il materiale deve essere reso disponibile anche alle future generazioni che hanno il diritto di poterlo vedere, studiare, apprezzare. Il Conservatore ha dunque il compito primario di mantenere il materiale nel migliore dei modi e di "consegnarlo" al suo successore nello stesso stato in cui lo ha ricevuto, se non addirittura in uno stato migliore. E' questa una funzione che per un piccolo, grande museo come quello dell'Accademia Valdarnese del Poggio non è facile da perseguire, soprattutto per la mancanza della necessaria disponibilità economica. E' proprio per questo scopo che il Consiglio dell'Accademia sta cercando di intrattenere proficui rapporti con le Istituzioni al fine di far comprendere la problematica inerente la questione della conservazione e del possibile recupero del materiale museale.

Il materiale del museo è costantemente oggetto di ricerca. Durante gli ultimi decenni è stato visitato da numerosissimi paleontologi provenienti da varie Università, interessate a svolgere studi sul materiale fossile valdarnese. L'Accademia ha organizzato ed ospitato, in collaborazione con altri Enti, numerosi convegni a livello locale, nazionale, europeo e mondiale. In occasione del duecentesimo anniversario dalla fondazione dell'Accademia sono in agenda alcune importanti manifestazioni (ottobre 2004 – ottobre 2005). Ogni anno il museo riceve richieste di materiale per pubblicazioni sia a carattere divulgativo che scientifico, e sono numerosi i giovani che preparano le loro tesi di laurea e di



Fig. 7 - Particolare della terza galleria del museo, in cui si possono osservare crani di bisonte e di uro della terza fase deposizionale del lago del Valdarno Superiore.

dottorato di ricerca utilizzando il materiale fossile conservato nel museo.

Dal punto di vista didattico dobbiamo riconoscere che il museo, essendo stato allestito in epoca ottocentesca, ha mantenuto l'aspetto di una bellissima collezione, nella quale però mancano quegli strumenti tipici dei musei moderni - quali le postazioni informatiche, i pannelli didattici e le esposizioni - che possano permettere al visitatore di comprendere pienamente quello che egli sta visitando. Ciò nonostante, negli ultimi venti anni l'Accademia con il suo museo ed il Centro Studi e Documentazione del Valdarno Superiore hanno sviluppato un approccio nuovo alla funzione didattica museale, per mezzo degli interventi svolti nelle scuole di ogni ordine e grado. La presenza nelle classi, nonché le visite al museo e alle zone fossilifere valdarnesi, sono state azioni tese alla divulgazione e alla comprensione del materiale raccolto e conservato nel museo stesso. Il risultato tangibile di questa attività è che ogni anno questo istituto annovera oltre cinquemila visitatori, in prevalenza studentesche locali ma anche provenienti da tutta l'Italia che, con l'ausilio di attività didattiche e visite guidate, prendono coscienza del materiale paleontologico e del suo significato storico-naturalistico.

Un evento di particolare importanza è stato poi il rinvenimento nel 2001, in una cava di ghiaie e sabbie della terza fase di sedimentazione del Valdarno Superiore posta in località Campitello (Bucine - Arezzo), di numerose ossa fossili che sono risultate appartenere ad un esemplare di elefante eurasiatico (*Palaeoloxodon antiquus*). Concordemente con il titolare della cava, che informò del ritrovamento il Direttore Responsabile della medesima (casualmente anche Conservatore del Museo di Montevarchi), vennero avvertiti i tecnici del Dipartimento di Scienze della Terra e della

Paleontologia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze, i quali fecero subito un sopralluogo, seguito nei giorni successivi dallo scavo e dal completo recupero del reperto di proboscideato: circa il 30-40% dell'intero scheletro.

Il grande interesse scientifico del materiale recuperato sta nel fatto che, oltre alla discreta quantità di ossa recuperate, per la prima volta nel Valdarno Superiore sono stati rinvenuti nello scavo, in prossimità del fossile, manufatti litici appartenuti all'uomo primitivo. Ciò porterebbe ad ipotizzare che si tratti di un animale ucciso, o comunque "utilizzato" dall'uomo. Sapevamo che gli animali di questa fase avevano convissuto con l'uomo, del quale erano stati trovati numerosi manufatti; mancava però la testimonianza del loro incontro.

Il materiale fossile è stato trasportato nel laboratorio della Sezione di Geologia e Paleontologia del Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze dove sono state compiute le operazioni di pulizia e restauro.

L'accordo tra l'Accademia Valdarnese del Poggio, nella persona del Conservatore, ed i tecnici dell'Università degli Studi di Firenze prevede che dopo il restauro, peraltro già conclusosi, il fos-

sile venga sistemato presso il Museo di Storia Naturale a Montevarchi, a titolo di prestito illimitato.

L'importanza di collocare nel nostro museo il suddetto reperto del Valdarno Superiore, tra i più importanti degli ultimi decenni, ha diverse motivazioni:

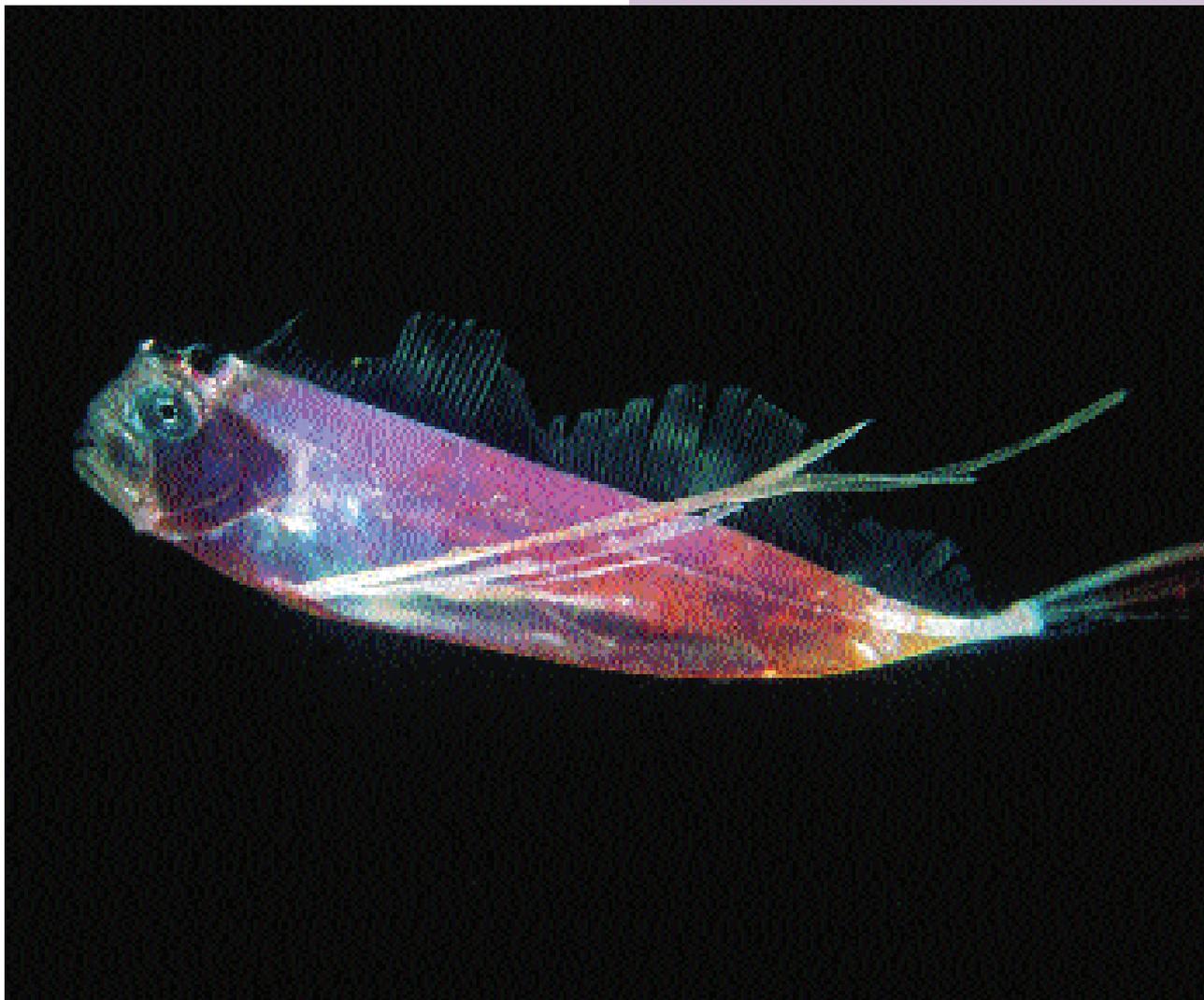
- il Museo Paleontologico dell'Accademia Valdarnese del Poggio deve rimanere un punto di riferimento fondamentale per tutti i ricercatori e i paleontologi del mondo interessati ai mammiferi continentali del Plio-Pleistocene, affinché la ricchezza e l'importanza del materiale fossile presente a Montevarchi sia adeguatamente conosciuta;
- poiché il museo è in vita da ben due secoli

(l'Accademia Valdarnese del Poggio, che lo gestisce, è stata eletta Ente Morale con Regio Decreto nel 1874), esso deve continuare a rappresentare un punto di riferimento anche per la conservazione del materiale paleontologico territoriale;

- dopo tutti i rinvenimenti effettuati negli anni passati nel Valdarno Superiore (l'elefante completo del Borro al Quercio, i ritrovamenti di Casa Frata, la tana delle iene di Poggio Rosso, ecc.) e che regolarmente sono stati collocati nel Museo di Firenze, questo sarebbe il primo ad essere esposto in un museo importante, ubicato nell'area di ritrovamento e con la possibilità di fruizione sia da parte della popolazione del territorio che degli studiosi di tutto il mondo (i quali, del resto, rimangono ben consapevoli di tutte le potenzialità insite nel museo dell'Accademia).

Io, il lettore

Io, il lettore



Sopravvissuto all'attacco di un predatore (è infatti rimasto visibilmente danneggiato nella testa e nella pinna dorsale), questo pesce nastro (*Trachipterus trachipterus*) nuota nelle profondità del mare elbano. Foto "Il Graffio", Follonica

Il giardino Vanni: l'ultima "area verde" sopravvissuta nel centro storico di Poggibonsi

Dilva Pisani

Via Poggibonizio, 4 – 53036 Poggibonsi (Siena)

Fotografie scattate nei primi anni del Novecento mostrano che Poggibonsi ospitava nel suo centro storico numerosi orti e giardini (vedi figura): tanto che un'area limitrofa all'antica cinta muraria è a tutt'oggi denominata "Il ton degli orti". In seguito, comunque, queste superfici verdi sono state via via occupate da abitazioni e da opifici.

Verso la metà dell'Ottocento, dal vecchio cimitero che era ubicato in prossimità di piazza Matteotti (popolarmente detta piazza Nova), un piccolo sentiero in terra battuta saliva fino alla porta del Poggiarello, costeggiava le vecchie mura e discendeva in via Poggibonizio, per poi final-

circa 1000 mq.

La storia narrata dal giardino di via Borgo Marturi è ultracentenaria. Fino al 1859, l'area ad esso corrispondente consisteva in una ripida scarpata che si affacciava sul fosso d'acqua circondante il borgo. In tale anno, però, l'antichissima pieve romanica di S. Maria Assunta in Marturi ed alcune fatiscenti case che la circondavano vennero demolite per fare posto ad una più grande chiesa in stile neoclassico; e il proprietario dell'area, il signor Giuseppe Vanni, che disponeva sia di numerosi barocchi da traino che di muli (in quanto dal 1825, per concessione Leopoldina, trasferiva

regolarmente dal porto di Livorno a Poggibonsi grandi quantitativi di grano proveniente dall'America), recuperò tutto il materiale prodotto dalla demolizione e lo scaricò nella scarpata parzialmente riempiendola. Al medesimo tempo, con i materiali migliori come le pietre squadrate e i mattoni, Vanni costruì la propria casa, che fu terminata l'anno successivo. Solo dal 1907 al 1908, cioè poco dopo le nozze del figlio Attilio con Gabriella Bering Nicoli, Vanni edificò l'ampio ed elegante palazzo padronale



mente biforcarsi in direzione di S. Lucchese ("erta" di S. Lucchese) e del Castello di Badia. Immediatamente all'esterno di quanto rimane delle vecchie mura che cingevano il borgo trecentesco, il suddetto sentiero oggi si chiama via Borgo Marturi e, in corrispondenza dell'ampio spazio recentemente ristrutturato della ex area Viti e dell'ex palazzo Vanni, costeggia un giardino di

attualmente sede della Camera del Lavoro.

Verso il 1870 la moglie di Vanni, la signora Elvira, per rendere più sicura la stabilità della casa, volle dotare quest'ultima di un giardino all'inglese con piante ad alto fusto e radici fitte e profonde che mantenessero compatto il terreno per renderlo immune da smottamenti. Nel giardino furono perciò piantati prima numerosi tigli ed

ippocastani, poi alcuni cedri del Libano, un abete bianco, magnolie, cipressi e allori. Gli ippocastani, che per volontà della signora Elvira dovevano essere alternatamente a fiori bianchi e a fiori rosa, risultarono in realtà tutti a fiori bianchi; per cui qualche anno più tardi si decise di piantarne uno a fiori rosa, purtroppo recentemente disseccatosi. A tutt'oggi nel giardino rimangono gli ippocastani, i cedri del Libano, gli allori, i cipressi e i viburni, associati a numerosi cespugli di ligustro.

Dà tristezza dover constatare che l'unico "polmone verde" rimasto nel centro storico della mia città, il giardino Vanni, da circa venti anni di proprietà del Comune e fino a non molto tempo fa luogo di svago per bambini ed anziani, si presenta oggi in uno stato di evidente abbandono. Non si può proprio fare nulla per valorizzarlo di nuovo a beneficio di tutta la cittadinanza?

A proposito degli organismi geneticamente modificati (OGM)

Giancarlo Signorini

Cerreto a Merse – 53010 S. Rocco a Pilli (Siena)

Riallacciandomi all'articolo pubblicato sul primo numero di **Etrurianatura**, gradirei esprimere la mia opinione di agricoltore sugli organismi geneticamente modificati (OGM), con particolare riferimento al mais.

Solo oggi, in Europa, inizia ad attenuarsi la drastica e pregiudizievole opposizione intorno alla coltivazione e consumo di piante geneticamente modificate. L'ingegneria genetica è una tecnica per adattare le specie vegetali alle esigenze dell'uomo. L'agricoltore, fino dalla sua origine (circa 10.000 anni fa quando alcune popolazioni iniziarono a diventare stanziali e non vivere più solo di caccia e raccolta) ha inciso sulla qualità e sulla produzione delle specie vegetali che potevano interessargli per mezzo di selezioni, incroci e ibridazioni.

Nessuna delle tecniche genetiche più moderne applicate all'agricoltura è buona o cattiva di per sé: buoni o cattivi sono i risultati che si ottengono e naturalmente, anche dal punto di vista economico, interessano i risultati buoni e non quelli cattivi. Le attuali biotecnologie hanno il vantaggio di accelerare i tempi per raggiungere il risultato mirato.

Tutto ciò, naturalmente, non esclude la necessità di tempi di sperimentazione. E' giusto il principio di precauzione, che però non vuol dire non sperimentare, non provare e "terrorizzare" i consumatori come è successo in Italia. Sono una ventina d'anni che si sperimentano OGM e una decina d'anni che si consumano in tutto il mondo (attualmente, con una crescita rapidissima, sono stati superati i 70 milioni di ettari coltivati) e, per quanto ne sappia, non vi è caso scientificamente

provato di danno alla salute causato da OGM. Questo naturalmente non significa che in avvenire tutti i prodotti delle biotecnologie saranno sicuri; dovranno essere certamente seguiti con attenzione, tenendo però presente che in natura non esistono la sicurezza assoluta e il rischio zero.

Consideriamo, ad esempio, la trasformazione della pianta del mais nei millenni di coltivazione, a partire dal Teosinte (*Euchlaena mexicana*), graminacea spontanea del Centro America (Messico, Guatemala e Honduras). Questa graminacea è caratterizzata da numerosi culmi sottili che terminano nell'infiorescenza maschile con poche cariossidi che, a maturazione, si staccano rendendo facile la ridisseminazione naturale. Nei secoli, i Maya hanno modificato la pianta originale ricavando il mais con spiga femminile compatta, la quale, anche cadendo al suolo, non può più ridisseminarsi naturalmente ma ha bisogno dell'intervento dell'uomo. In questo modo i Maya aumentavano notevolmente la produzione della loro principale fonte di alimentazione.

La modificazione del mais ha raggiunto una fase particolarmente importante negli anni '50 del secolo scorso, allorché si è giunti alla produzione e rapidissima diffusione degli ibridi di prima generazione, ricavati dall'incrocio di due linee pure. Questo fatto ha portato nella seconda metà dello scorso secolo, prima nell'America del Nord e poi anche in Europa, alla sostituzione in breve tempo delle vecchie varietà locali. C'è stato quindi un notevolissimo aumento della produzione (da 40-50 a 120-140 quintali per ettaro), anche se tutti gli anni è necessario ricomprare il seme dalle ditte riproduttrici. Questo ormai facciamo da 50 anni.

Con gli attuali mais OGM, coltivati nel mondo per 15 milioni di ettari - ma non in Europa dove è ancora vietata la coltivazione (tranne che in Spagna), ma è permesso il consumo a condizione

che un'etichetta ne dichiari il contenuto OGM -, abbiamo i seguenti vantaggi:

- un mais resistente al glifosate che rende meno pericoloso e costoso il diserbo (il glifosate, infatti, è un disseccante totale che viene distribuito in post-emergenza e si disattiva a contatto del terreno senza inquinare le falde);

- un mais resistente alla piralide, la quale, nelle annate più calde, non soltanto provoca danni alla produzione fino al 20-30%, ma soprattutto rimane il principale vettore delle micotossine, in particolare l'aflatossina e le fumonisine che sono cancerogene e stanno creando problemi (nel 2003, anno di forti attacchi di piralide, queste sostanze sono state trovate oltre il limite tollerato in alcune partite di latte, che perciò hanno dovuto essere distrutte). Un mais resistente alla piralide farebbe inoltre evitare i difficili e costosi trattamenti chimici.

Sussistono infine buone prospettive per l'avvenire di poter avere mais più ricchi di proteine nobili, di vitamine o di amido adatto per l'industria, o anche di avere mais con capacità di assorbimento di azoto atmosferico paragonabile alle leguminose.

Ritengo, in conclusione, che non possiamo fermare il progresso della produzione agricola. La popolazione mondiale aumenta, anche se ad un ritmo meno accelerato, e presto raggiungerà i 7 miliardi di individui. Molti Paesi dovranno nutrirsi meglio aumentando i consumi, come già sta succedendo in Cina e in India, e ciò dovrà avvenire non a carico di nuove terre coltivabili sottratte a foreste e ad ambienti incontaminati, bensì diminuendo gli inquinamenti e continuando ad utilizzare le medesime aree attualmente coltivate accrescendone la qualità e la quantità di produzione. E gli OGM possono essere molto interessanti per raggiungere questi obiettivi nel prossimo avvenire.

Visita alle “piccole cose” del Museo del Bosco

Gli alunni delle Classi IIA, IIB e IIIB

Liceo Biologico “Monna Agnese”

Via del Poggio, 16 - Siena

Nell'aprile scorso alcune classi (IIA, IIB e IIIB) del Liceo Biologico “Monna Agnese” hanno effettuato un'escursione fino al borgo di Orgia, non lontano da Rosia, per visitare il Museo del Bosco. Oltre che dagli insegnanti, esse erano accompagnate da giovani universitari (Luca e Stefania) che hanno aiutato a meglio comprendere gli aspetti naturalistici del museo.

Un cartello posto all'inizio del percorso museale informa quali sono i mammiferi più diffusi nella zona e in che modo è possibile accertarne la presenza attraverso il riconoscimento delle impronte e degli escrementi.

Luca ha parlato dei Licheni. Questi organismi, assai longevi e resistenti, derivano dall'unione simbiotica di un'alga con un fungo e vivono prevalentemente attaccati alle rocce e alle cortecce degli alberi. Si è così appreso che essi, in quanto particolarmente sensibili alla qualità dell'aria, possono fungere da ottimi indicatori del grado di inquinamento atmosferico.

Oltre a presentare vari tipi di Licheni, tra i quali anche una specie piuttosto rara in Italia, Luca ha parlato, durante il percorso, delle più semplici piante terrestri, cioè dei Muschi. Questi si presentano dotati di fusticino e di foglioline, però differenti per struttura da quelli delle piante superiori. Quanto alle loro radici, non hanno niente a che vedere con quelle di tutte le altre piante, e consistono in filamenti cellulari del tutto

corrispondenti a quelli riscontrabili in alcune alghe.

Qualcuno ha fatto notare che nel bosco la presenza sporadica di pini sembrava “stonare” con quella dominante di castagni, lecci, e altri alberi decidui. Luca ha spiegato che tali conifere erano state piantate negli anni Sessanta per favorire il rimboschimento. In seguito, però, gli ecologi si erano accorti che gli aghi di pino caduti sul terreno lo rendevano acido, impedendovi la crescita del sottobosco; si è passati quindi a rimboschire esclusivamente con specie arboree locali.

Giunti in cima alla collina, abbiamo trovato la recente ricostruzione di una carbonaia (Fig.1), ovvero una struttura artificiale che, come dice il nome, serviva a produrre carbone. Simile ad un piccolo vulcano, essa consiste di un camino, nel quale veniva acceso il fuoco, e di una copertura di rami tagliati disposti verticalmente tutt'intorno al



Fig. 1 - La carbonaia



Fig. 2 - La capanna del carbonaio

camino stesso e ricoperti di terra, in modo da mantenere il fuoco scarsamente esposto all'aria e perciò adeguatamente "soffocato". La lenta combustione della legna avrebbe fatto sì che essa, prima di diventare cenere, si trasformasse gradualmente in carbone. Ovviamente, era necessario che il processo venisse tenuto continuamente sotto sorveglianza: tant'è che ogni carbonaia aveva il suo "addetto" che la controllava di giorno e soprattutto di notte, aprendo qualche piccolo varco se la combustione era troppo lenta oppure mettendo altra terra se la combustione era troppo rapida. Il processo durava più o meno otto giorni, dopodiché il focolare veniva spento e dal paese arrivavano i "barrocciai" a prendere il carbone da distribuire.

A pochi metri dalla carbonaia si trova una piccola capanna (Fig.2), anch'essa da poco ricostruita, che rappresenta la dimora del carbonaio. La capanna è di legno, ma alla base è ricoperta di terra, in modo che non entrino né acqua né animali.

Le carbonaie dovevano essere molto diffuse nella zona, tanto che nel bosco ne abbiamo incontrati parecchi resti.

Dopo aver lasciato l'area della carbonaia, ci siamo imbattuti in una piccola "baita", costruita dai cacciatori del posto e messa a disposizione dei visitatori del bosco. Poco lontano da questa, uno "strano pozzo" è stato presentato come forno per produrre calce. In esso, infatti, doveva essere accumulata roccia calcarea e sottoposta a forte calore attraverso il consumo di un'enorme quantità di legna.

Al termine del percorso museale, sprofondato nel verde silente della vegetazione, giace un piccolo stagno con il suo minuscolo ecosistema tutto da scoprire.

Non era certo nostra intenzione descrivere il Museo del Bosco, che meriterebbe una trattazione ben più dettagliata di quella sopra eseguita. Premeva soltanto far trasparire dalla nostra esperienza quel senso di magia che anche le più piccole "cose della natura" presenti nell'immediata periferia di ogni centro abitato sanno trasmettere.

Ben venga, dunque, qualsiasi occasione di conoscenza del patrimonio storico-naturalistico, da vedersi come insostituibile elemento di crescita anche per le nuove generazioni.

L'altra faccia del Chianti

Stefano Cinelli*, Giacomo Guerrini**

*Piazza Antico Mercato, 17 – 53013 Gaiole in Chianti (SI)

**Via di Calzoleria, 15 – 53100 Siena

Varie associazioni Pro-Loce e numerose agenzie turistiche impegnano le loro attività nel promuovere il territorio del Chianti, da molti denominato “il giardino del mondo”, stimolandone e favorendone la conoscenza e proponendo pacchetti-vacanze con escursioni a piedi, in *mountain-bike* o a cavallo.

Noi, chiantigiani DOC e con davanti agli occhi, dacché siamo nati, lo splendore di questo territorio, non possiamo che approvare incondizionatamente queste attività ed auspicarne con entusiasmo un futuro di rigoglioso sviluppo.

Nello stesso spirito e al medesimo tempo, comunque, non possiamo esimerci dal denunciare alcune situazioni che navigano decisamente in senso contrario a quello delle suddette realtà promozionali.

È infatti sufficiente, a puro titolo di esempio, allontanarsi di pochi chilometri verso sud dal centro abitato di Gaiole per incontrare fra le meraviglie della natura, abbandonati da anni qua e là in mezzo ai boschi,...



mobili, furgoni, veicoli fuori-strada e cisterne-rimorchio!

Muniti di adeguato corredo fotografico, ci siamo recati sia all'ufficio dei Vigili Urbani che alla centrale dei Carabinieri del Comune di Gaiole per informare della cosa. Nessuno, comunque, è stato in grado di darci risposte esaurienti sul perché di tale situazione, né assicurazioni sul come porvi rimedio.

Domande: Cos'è che spinge certi “esseri” a deturpare l'ambiente in questa maniera, pur non ignorando che esistono luoghi appositi in cui i

materiali ingombranti possono e devono essere convogliati? Forse i proprietari di tali materiali consideravano “troppo spogli” quei boschi interamente accessibili al pubblico, e perciò hanno ritenuto opportuno arreararli con i loro regali elettrochimici e metallici?

Purtroppo sono domande che sembrano essere rivolte all'aria, in quanto situazioni come queste



tornano inesorabilmente a ripetersi in ogni dove. È sufficiente seguire i telegiornali e le trasmissioni tipo “Striscia la notizia”, per rendersene conto.

Ancora oggi, nell’anno di grazia 2004, esistono non poche persone incapaci di comprendere che la salvaguardia dell’ambiente è fondamentale per garantire un futuro alle generazioni che ver-



ranno dopo di noi. Se si vuole essere buoni cittadini del mondo, non si può preoccuparsi soltanto dello smaltimento differenziato dei rifiuti familiari e “snobbare” completamente tutto quello che c’è fuori della nostra porta di casa. Bisogna invece capire che il MONDO è la nostra casa e che tenerlo pulito è dovere di tutti.

La parola all'immagine

La parola all'immagine



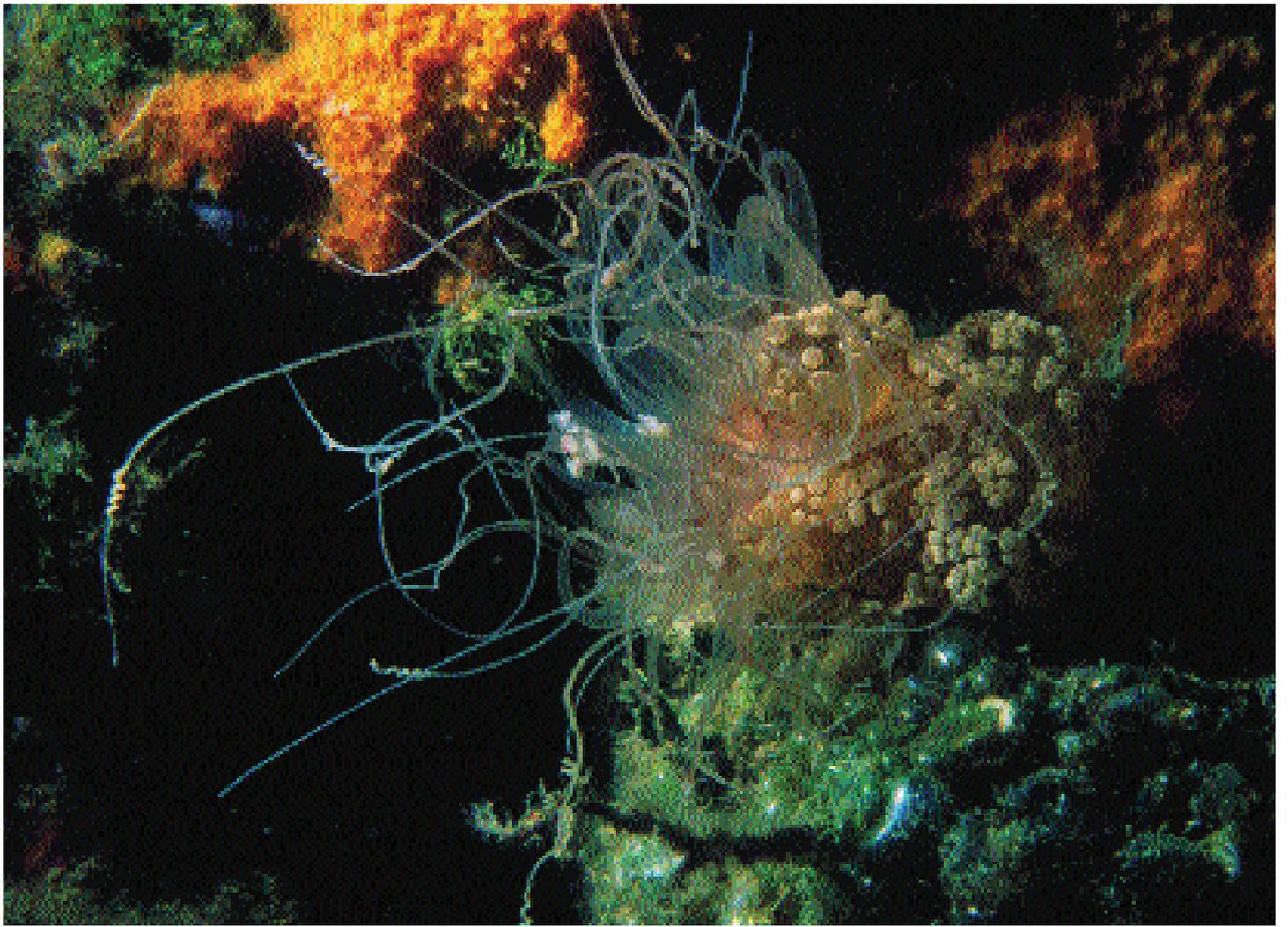
La sagoma argentea di un dentice (*Dentex dentex*) si staglia sullo sfondo blu intenso del mare dell'Elba
Foto "Il Graffio", Follonica

Girovagando per i fondali marini della costa toscana meridionale



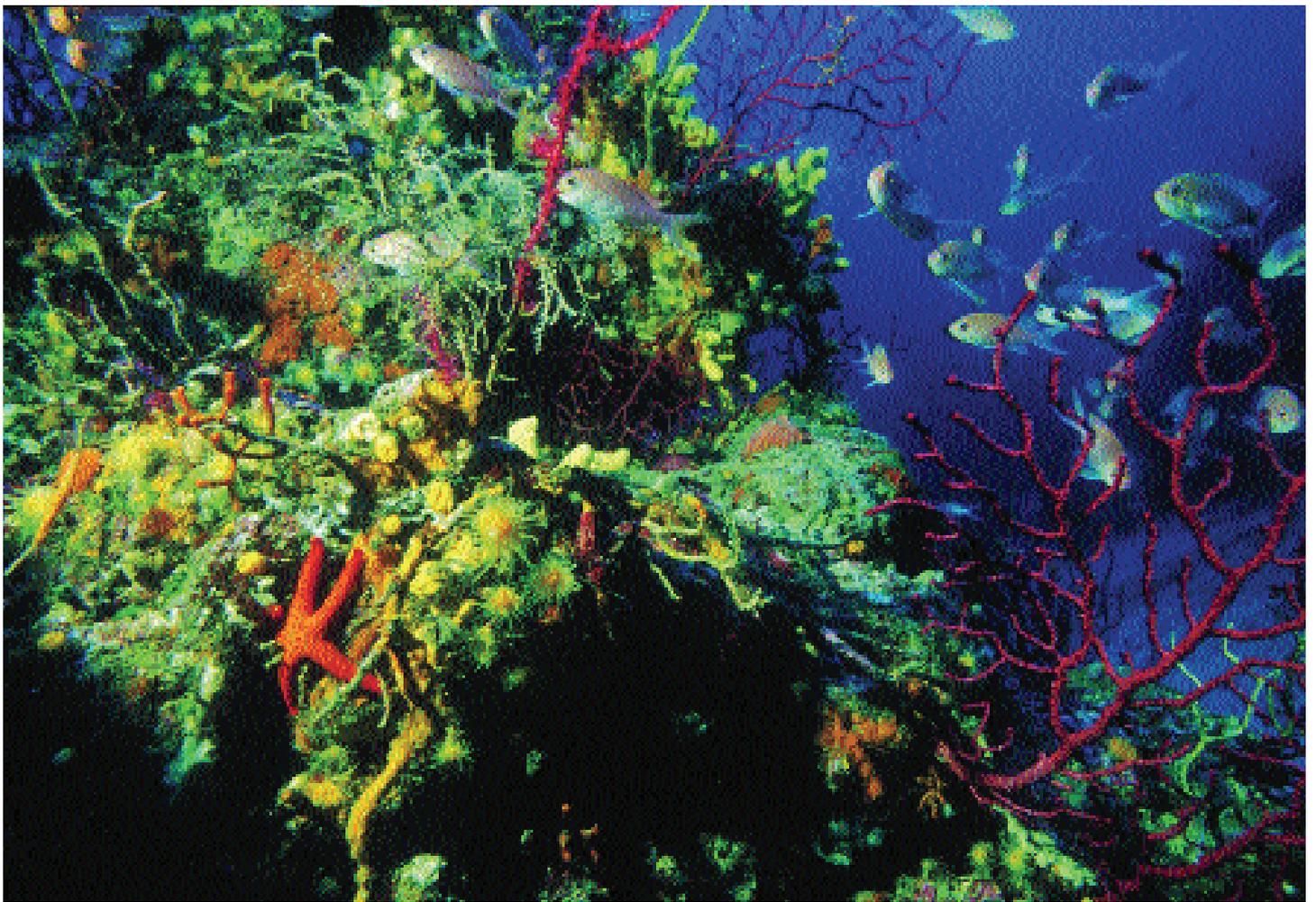
Fondali delle Formiche di Grosseto. In alto, un asteride del genere *Luidia*. In basso, una spugna ramificata della famiglia delle Axinellidi.





Fondali delle Formiche di Grosseto. In alto, un antozoo (*Alicia mirabilis*) protende i suoi lunghi tentacoli in cerca di preda. In basso, un granchio del genere *Inachus* si nasconde sotto la corona dell'attiniario *Condylactis aurantiaca* nei pressi della costa elbana.





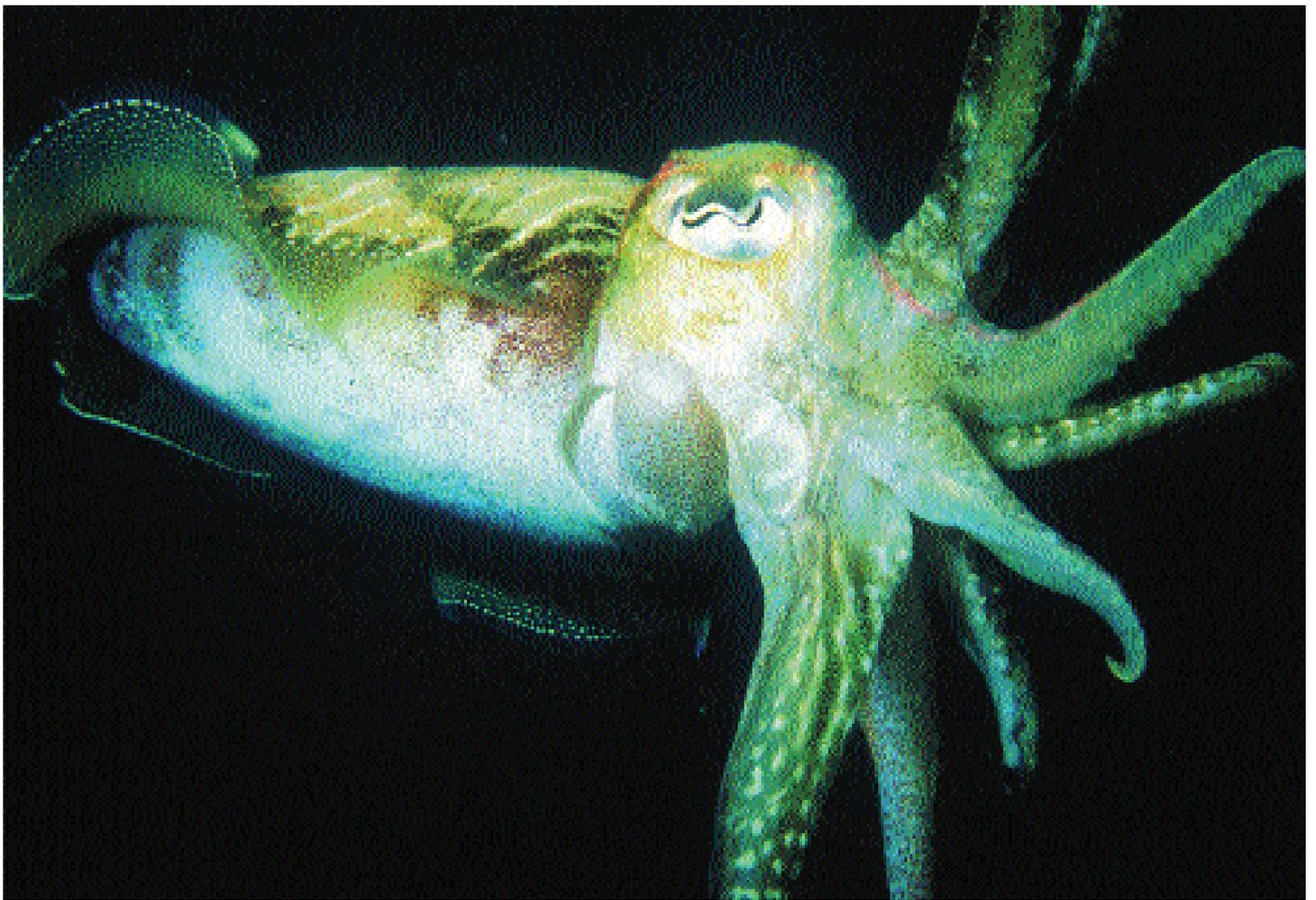
Fondali dell'Isola d'Elba. In alto, biocenosi ad attiniari, spugne, asteroidi, pesci, ecc. (sulla destra, la rossa gorgonia *Paramuricea clavata*). In basso, un affollato insieme di attiniari *Sagartia elegans*.





Golfo di Follonica. In alto, un gasteropode nudibranco (*Flabellina affinis*), striscia sul tubo di un anellide serpulide. In basso, ancora un nudibranco ma della specie *Cratena peregrina*.





Golfo di Follonica. In alto, una seppia (*Sepia officinalis*) in cerca di preda. In basso, un paguro (*Pagurus prideaux*), recante sul dorso un'attinia (*Adamsia palliata*), passeggia su un'alga rossa nei fondali antistanti l'Isola di Cerboli.



Schede naturalistiche

Schede naturalistiche



Un pesce luna (*Mola mola*) si affida alle cure di un piccolo pesce "ripulitore" nel mare dell'Elba
Foto "Il Graffio", Follonica

Un tuffo... nell'ippodromo!

Francesca Borghini*, Paolo Bausani**

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

**Centro Immersioni Costa d'Argento, Via Civini, 10 - 58019 Porto Santo Stefano (GR)

Malgrado il turismo subacqueo sia cresciuto moltissimo negli ultimi anni, non sempre chi lo pratica mostra di essere consapevole dei danni che può causare all'ecosistema marino. Agendo inavvertitamente, ad esempio, si può pinneggiare o appoggiarsi sulle rocce, in tal modo menomando o uccidendo gli organismi che vivono su di esse. Sensibilizzare i subacquei al rispetto e ad una più approfondita conoscenza dell'ecosistema marino è quindi fondamentale per la salvaguardia del suo tanto meraviglioso quanto complesso e delicato equilibrio. D'altra parte, tale conoscenza non potrà che portare a far apprezzare ancor più l'immersione e quindi ad accrescere il divertimento da essa procurato.

Di solito, ogni volta che ai subacquei, sempre vogliosi di scenari multicolori, viene proposta un'immersione su fondali sabbiosi (o come ripiego perché le condizioni meteo-marine non consentono altro, o perché ciò è sufficiente per praticare quei noiosi ma indispensabili esercizi finalizzati a conseguire il fatidico brevetto), le espressioni di rammarico e di stizza si sprecano sui loro volti. Generalmente, infatti, si è portati a credere che i substrati sabbiosi siano monotoni e poveri di vita, e dunque privi di particolare interesse. Pertanto, per sfatare tale credenza, abbiamo scelto di immergerci proprio in questo tipo di fondali.



Fig. 1 - Una tracina (*Trachinus araneus*) semi-infossata nella sabbia.

L'immersione è stata tutt'altro che noiosa, tanto sono risultati interessanti gli spunti che vi abbiamo trovato.

Il tratto di costa visitato è quello antistante l'Hotel "La Caletta", storico albergo di Porto S. Stefano (Argentario), dove l'immersione può essere agevolmente effettuata da terra, il tutto essendo reso ancora più comodo dalla presenza *in loco* di un centro - immersioni. Ci siamo immersi direttamente dalla spiaggia dell'hotel ed abbiamo girovagato nella zona di fronte senza seguire particolari direzioni. Il fondale, inizialmente ciottoloso, dopo poche pinneggiate si presenta come una vasta area sabbiosa in cui è già possibile fare i primi incontri interessanti.

Vari esemplari di rombo di rena (*Platophrys podas*), da non confondere con la sogliola (*Solea*) che più facilmente è individuabile nelle ore notturne, ci hanno dato il benvenuto. Osservando più attentamente il fondale, abbiamo scorto la caratteristica sagoma di una tracina (*Trachinus*) (Fig. 1) che, accortasi della nostra presenza, con un rapido movimento è andata a nascondersi sotto la sabbia lasciandoci intravedere soltanto gli occhi. In altre occasioni, negli stessi luoghi abbiamo incontrato, con un po' di fortuna, grossi esemplari di pesce prete (*Uranoscopus scaber*), anch'esso munito, come la tracina, di una grossa spina velenifera.

Scendendo ulteriormente, a -14 metri circa, la granulometria del sedimento diminuisce. È questo l'habitat ideale della triglia di fango (*Mullus barbatus*), che a gruppetti di individui vediamo setacciare con i caratteristici barbigli il fondale in cerca di cibo. Qui, nelle ore notturne (perché di giorno preferiscono restare sepolte sotto la sabbia), è facile osservare anche grossi esemplari di stella pettine (*Astropecten aranciacus*) intenti a cacciare molluschi.

L'uniformità del paesaggio è interrotta qua e là dalla presenza di oggetti (lamiere, cavi, reti) che per incuria l'uomo troppo spesso abbandona in mare, quasi si trattasse di una discarica personale. Nonostante ciò, anche questi manufatti rivelano

incredibili sorprese, essendo stati completamente colonizzati da molti organismi bentonici. Vi abbondano infatti (specialmente in primavera, allorché si riproducono lasciandosi dietro la classica spirale di uova dai colori sgargianti), molluschi gasteropodi dell'ordine dei nudibranchi quali *Flabellina affinis*, *F. babai*, *Cratena peregrina* e *Dondice banyulensis* (Figg. 2, 3).

Altro motivo di interesse è la presenza dell'ombrella di mare (*Spirographis spallanzani*), anellide tubicolo dalle variopinte corone branchiali, simili alla corolla di un fiore, che si muovono dolcemente alla ricerca di cibo ma che velocemente si ritraggono all'interno del tubo chitinoso quando avvertono la presenza del subacqueo.

Ma il più entusiasmante fra tutti gli incontri è senza dubbio quello con i cavallucci marini, ai quali il luogo dove ci siamo immersi deve la nostra denominazione di "ippodromo". Soggetto preferito dai fotografi sottomarini, col trascorrere degli anni questi pesci assai particolari sono diventati sempre più rari da osservare: tanto che per incontrarli anche i subacquei più esperti farebbero veramente "salti mortali". All'ippodromo nessuno rimarrà deluso: ad ogni immersione, con un po' di pazienza e spirito di osservazione, potranno essere avvicinati numerosi esemplari di differenti colori e dimensioni.

Ai cavallucci marini dell'ippodromo è dedicata questa scheda naturalistica.

I cavallucci marini appartengono alla classe degli Osteitti (pesci ossei), all'ordine dei Singnatiformi e alla famiglia dei Singnatidi, di cui fanno parte anche i pesci ago. L'ordine è caratte-



Fig. 2 - Un gasteropode nudibranco della specie *Dondice banyulensis* sull'ombrella di mare *Spirographis spallanzani*.

rizzato da animali con il corpo interamente o parzialmente rivestito da placche ossee e dalla forma assai eccentrica rispetto a quella tipica dei pesci: le branchie, infatti, sono chiuse e si aprono all'esterno solo tramite un piccolo poro, mentre tutte le pinne, eccettuata la dorsale, sono ridotte o addirittura assenti e la bocca è piccola, priva di denti e a forma di tubo.

Distinti dai pesci ago per la coda prensile e per il capo disposto ad angolo retto rispetto al corpo, i cavallucci marini hanno capacità di spostamento piuttosto limitate, in quanto nel nuoto la propulsione è data dal movimento dell'unica pinna dorsale, con la partecipazione delle pettorali. Il loro nome generico, *Hippocampus*, deriva dal greco *hippos*, che significa cavallo, mentre *kamos* vuol dire mostro di mare. I cavallucci marini si trovano in quasi tutti i mari, di solito in acque costiere su fondali ricchi di alghe o con praterie di fanerogame. Alcune specie possono penetrare anche in ambienti lagunari, mentre altre possono spingersi fino a 60 metri di profondità. Delle 50 specie di cavallucci marini attualmente riconosciute, soltanto due – il cavalluccio marino comune, *Hippocampus guttulatus* (Fig. 4), e il cavalluccio marino camuso, *H. antiquorum* (Fig. 5) – popolano le acque temperate del Mediterraneo, vivendo di preferenza mimetizzate nelle praterie di *Posidonia*.

Per poter identificare le differenti specie si devono esaminare alcuni caratteri distintivi quali il colore, il numero di raggi della pinna dorsale, il numero di anelli della coda e la presenza o meno di protuberanze nel corpo. In ogni caso il



Fig. 3 - Un altro gasteropode nudibranco, stavolta della specie *Flabellina affinis*.



Fig. 4 - Un cavalluccio marino comune (*Hippocampus guttulatus*) su *Spirographis spallanzani*.

corpo dei cavallucci marini, rivestito da una serie di anelli ossei e spesso provvisto di spine o appendici dermiche semplici o ramificate, è sempre corto, fortemente compresso e gibboso sul lato ventrale e termina con una lunga coda mediante la quale i cavallucci si attaccano alla vegetazione o ai rami delle gorgonie.

Per quanto riguarda le due specie mediterranee, esse sono molto simili, però *H. guttulatus* si riconosce per la presenza di spine ed il muso più lungo rispetto a *H. antiquorum*. Entrambe hanno colore per lo più marrone scuro o nero-verdastro, sebbene sia possibile incontrare esemplari completamente rossi o gialli. Si nutrono di piccoli crostacei e di zooplancton in generale, che aspirano con la bocca.

I cavallucci marini si riproducono preferibilmente nei mesi caldi, da marzo a settembre. Il sistema di riproduzione è peculiare, in quanto è il maschio che accoglie e incuba le uova in un marsupio ventrale, partorendo poi i piccoli dopo una gestazione di circa due mesi. Quando in primavera la temperatura dell'acqua inizia a salire, gli ippocampi vanno in amore e dopo alcuni giorni di corteggiamento fatto di "danze", ossia di lenti e flessuosi movimenti, maschi e femmine intrecciano le loro code e le femmine depongono le uova nel marsupio dei

maschi, che le fecondano e le proteggono con cura fino alla schiusa. Successivamente a quest'ultima, sono ancora i maschi che accudiscono i piccoli fino a quando non sono in grado di nuotare e nutrirsi autonomamente. Alcune specie sono monogame e trascorrono tutta la vita con lo stesso partner.

Essendo piuttosto stanziali e vivendo in habitat in condizioni di equilibrio naturale, dal lato ecologico i cavallucci marini sono considerati come indicatori di buona qualità ambientale. Quindi il fatto di ritrovarne in notevole numero in determinate

aree è garanzia di buona qualità ambientale di queste ultime.

Gli ippocampi, forse per la loro forma particolare, sono stati fin dall'antichità oggetto di miti e di leggende. Soprattutto in oriente, essi sono stati e sono tuttora utilizzati per la preparazione di farmaci, tonici ed afrodisiaci. Attualmente essi continuano ad essere pescati per adornare acquari domestici e per la produzione di vari oggetti ornamentali. Tali attività, assieme all'impoverimento delle praterie di *Posidonia* nel Mediterraneo, sono responsabili della loro diminuzione di numero, oggi giorno talmente spiccata da farli dichiarare dalla World Conservation Union animali a rischio di estinzione.



Fig. 4 - Ancora un cavalluccio marino comune tra i rami della gorgonia *Eunicella*.

I beni culturali di carattere pedologico: elementi per la loro valutazione e prima individuazione dei pedositi toscani

Edoardo A.C. Costantini, Giovanni L'Abate

Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura: Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Piazza M. D'Azeglio 30 – 50121 Firenze. www.soilmaps.it

Lo stato dell'arte

Abitualmente il suolo è stato studiato con riferimento al suo interesse economico soprattutto in campo agricolo e forestale, tanto che accanto al capitale, al lavoro ed agli altri mezzi di produzione, è stato definito come uno dei “fattori della produzione”. In sintesi, del suolo si è esclusivamente apprezzata una sua qualità, la fertilità, in tutti i suoi diversi aspetti. Negli anni, soprattutto nei paesi ad economia avanzata, si è andati via via scoprendo l'importanza del suo ruolo “ambientale”: in particolare quello di serbatoio e filtro per le sostanze inquinanti, di regolatore dei deflussi idrici, di deposito di sedimenti e di accumulatore di carbonio organico (Costantini, 2000). Più di recente sono stati valutati anche altri aspetti, prima non adeguatamente riconosciuti, quali il ruolo di riserva della biodiversità biologica e di cassaforte di molti reperti paleontologici, paleontologici ed archeologici, valori questi non immediatamente né facilmente monetizzabili. In questo modo è stata aperta una via alla considerazione di aspetti legati alla conoscenza, la quale può essersi accumulata su un sito pedologico, essere connessa a quel sito o funzionalmente ad esso dipendente, tanto da poterlo considerare a tutti gli effetti un “bene culturale” (Arnoldus-Huyzenveld *et al.*, 1995). È evidente come tutto ciò abbia importanti ricadute, non solo sul piano scientifico-didattico e tecnico (ad esempio sulla definizione di una corretta metodologia di Valutazione di Impatto Ambientale), ma anche su quello della politica amministrativa, in particolare per quanto concerne la necessità di una adeguata comprensione di tutte le implicazioni ambientali che possono conseguire dalle diverse scelte di Programmazione Territoriale (soprattutto per quanto riguarda le aree protette).

In questi ultimi anni, in Italia la sensibilità verso i valori culturali del suolo si è notevolmente accresciuta; purtroppo, però, manca ancora una

metodologia di lavoro organica e diffusa. Sono stati comunque sviluppati alcuni concetti di base ed elementi per una definizione del suolo quale bene culturale (Tab. 1), nonché criteri di valutazione e tutela (Tab. 2) (Dazzi, 1996; Dazzi & Monteleone, 1999; Costantini, 1999) per realizzare applicazioni locali (Arnoldus-Huyzenveld & Gisotti, 1999; Brenna & Rasio, 1999; Di Gennaro, 1999). Recentemente, ad esempio, in collaborazione con l'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura ed alle Foreste della Lombardia è stata effettuata una valutazione dei suoli di interesse culturale della pianura lombarda, da proporre nell'ambito della programmazione regionale per la salvaguardia delle aree protette (Costantini *et al.*, 2003).

In Toscana è stato per la prima volta svolto un rilevamento pedologico di dettaglio, specificamente finalizzato alla valutazione dei valori culturali dei suoli in un ambito territoriale definito (L'Abate & Costantini, 2000). Il lavoro, iniziato con una ricerca comune tra le Università di Siena e di Venezia e l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze, ha avuto tra le sue ricadute una significativa collaborazione per la divulgazione dei risultati con l'Associazione del Museo-Territorio di Storia Naturale dell'Alta Val d'Elsa.

Poiché sembra possibile ed auspicabile poter realizzare simili esperienze in altre parti d'Italia, in particolare laddove istituzioni pubbliche o private siano interessate alla valorizzazione di tutte le componenti del loro territorio, qui di seguito si forniscono significato dei termini e criteri relativi all'applicazione della scheda messa a punto per il censimento dei pedositi a scala di dettaglio. È inoltre riportata la prima lista dei pedositi toscani di valore internazionale, realizzata sulla base delle conoscenze e dati raccolti dal Centro Nazionale di

Tabella 1 – Valori. I due aspetti che qualificano il bene culturale suolo: il suolo come profilo e il suolo come paesaggio

Profili pedologici come beni culturali:

i) paleosuoli, vetusuoli e suoli dei siti archeologici e paleontologici (testimonianza paleoambientale – TP). Alcuni profili di suolo assumono particolare interesse in quanto testimoni di passati ambienti o di antiche situazioni culturali; la necessità di protezione di questi siti è particolarmente elevata in quanto si tratta spesso di luoghi di limitata estensione (Fig. 1).

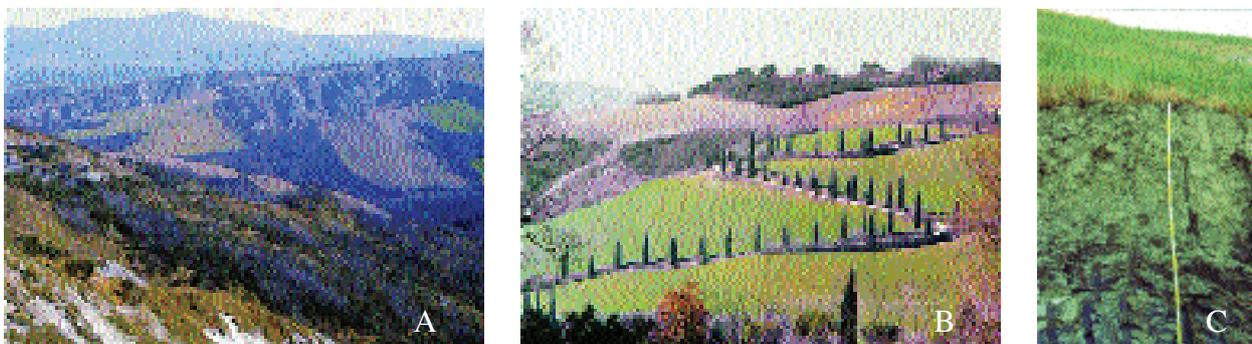


Fig. 1 - A: paesaggio tipico dei suoli *Orcia*: suoli argilloso limosi, molto calcarei ai primi stadi di evoluzione, B: paesaggio tipico dei suoli *Quercia*: suoli argilloso limosi, molto calcarei moderatamente evoluti, C: Profilo di un suolo *Quercia*. Val D’Orcia (SI). Valori: paesaggio culturale. Criteri e classi: accessibile in auto, pubblicato.

ii) Suoli esemplificativi di processi naturali ed antropici (esemplarità didattica – ED). Rientrano in questo gruppo i suoli delle sequenze, o "catene", e i suoli rappresentativi delle principali unità tassonomiche delle classificazioni pedologiche (Fig. 2 – Tipico Vertisuolo della Sicilia).

Paesaggi pedologici come beni culturali:

i) suoli che caratterizzano un ben determinato paesaggio culturale (paesaggio culturale – PC). I caratteri del suolo, la sua fertilità e il paesaggio agricolo sono fattori che interagiscono tra loro nel formare un "unicum" caratteristico, come nel caso del sistema culturale detto della "coltura promiscua", che caratterizza alcune ben note



Fig. 2 - *Plinthosols*, Paleosuolo con petroplintite, Lacona, Isola d’Elba (LI). Valori: testimonianza paleoambientale. Criteri e classi: raro a scala internazionale, medio stato di conservazione, accessibile in auto, segnalato.



Fig. 3 - Suoli *San Gimignano* del paesaggio caratteristico della coltura promiscua toscana, San Gimignano (SI). Valori: paesaggio culturale. Criteri e classi: accessibile in auto, pubblicato.

località turistiche dell’Italia centrale (Fig. 3 – paesaggio della coltura promiscua a San Gimignano).

ii) Suoli come bellezze panoramiche (valore scenico – VS). I suoli possono contribuire alla bellezza di un paesaggio tramite i loro colori e il contrasto con la vegetazione e le altre componenti ambientali (Fig. 4 – paleosuoli del Pliocene inferiore a Montalcino).

iii) Suoli in delicato equilibrio ambientale (situazione relittuali – SR). I suoli possono preservare condizioni ambientali diverse da quelle attuali dominanti nell’area, come nelle situazioni relittuali di ambiente vulcanico o dove sono presenti coperture vulcaniche facilmente erodibili su rocce litoidi (Fig. 5 – suolo vulcanico a Vico).

iv) Suoli dei biotopi, ad esempio delle zone umide (valenza ecologica – VE). Qui il ruolo del suolo è indiretto, nel senso che sono alcune particolari caratteristiche del suolo a consentire la sopravvivenza dell’ecosistema.

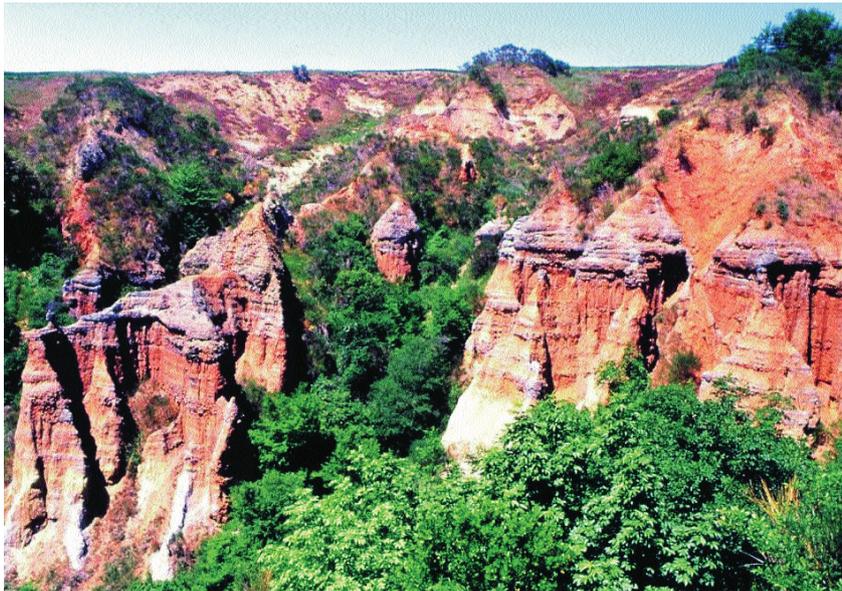


Fig. 4 (a sinistra) - *Plinthosol*, Pod. Renieri, Montalcino (SI). Valori: testimonianza paleoambientale, valore scenico. Criteri e classi: raro a scala internazionale, buono stato di conservazione, distanza a piedi <500 m, pubblicato.

Fig. 5 (a destra) - *Typic Melanudand*, Suoli *Pian della Culla* sviluppatisi su depositi vulcanitici (vulcaniti quarzolitiche) i cui vetri caratterizzano la parte sommitale del profilo, Monte Amiata, Abbadia San Salvatore (SI). Valori: esemplarità didattica, situazione relictuale. Criteri e classi: raro a scala internazionale, medio stato di conservazione, accessibile in auto, studiato.

Tabella 2 – Criteri e classi di valutazione e tutela dei suoli come beni culturali

- i) Rarità: vanno distinti i suoli che sono rari in un certo ambiente da quelli rari a scale sempre più ampie, fino alla scala internazionale (R1 - internazionale, R2 - nazionale, R3 - regionale).
- ii) Grado di disturbo: a parità di altre condizioni, il valore di un suolo è proporzionale al suo stato di conservazione (D1 – scarso, D2 – medio, D3 – elevato).
- iii) Vocazione sociale: il bene culturale pedologico è di maggiore importanza se il suo valore è chiaramente visibile e se è ben accessibile (A1 – in auto, A2 – distanza a piedi <500 m, A2 – distanza a piedi >500 m).
- iv) Informazioni relative al suolo: dei suoli se ne ha spesso una conoscenza solo sommaria, che rende difficile il loro apprezzamento (I1 – pubblicato, I2 – studiato, I3 – segnalato).

Cartografia Pedologica posto presso l’Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze.

Termini e criteri adottati nella scheda per la valutazione dei pedositi

Prendendo come riferimento la scheda ProGEO Italia (Poli, 1999), ne è stata compilata un’altra relativa ai pedositi traducendo per i suoli il significato dei termini utilizzati per i geositi in genere. Da sottolineare che, per realizzare in modo automatico il procedimento di valutazione, le caratteristiche considerate sono tutte presenti e codificate nel *data-base* (DB) del Centro Nazionale di Cartografia Pedologica.

La voce “età del pedosito” è riferita alle tipologie tassonomiche di suolo americane (Soil Survey Staff, 1997). Tutte le diverse tipologie tassonomiche a livello di “grande gruppo” sono state suddivise

in quattro tipologie cronologiche secondo il criterio esemplificato in tabella 3.

Le tipologie di “importanza scientifica” per i siti pedologici sono: i) testimonianza paleoambientale, ii) valenza ecologica, iii) esemplarità didattica. Per la voce testimonianza paleoambientale sono considerati tutti i paleosuoli, i quali testimoniano la persistenza in passato di condizioni ambientali diverse dalle attuali; questi possono essere estremamente diversi dai suoli formati negli stessi luoghi in epoche successive e sono quindi in uno stato di equilibrio metastabile nelle condizioni ambientali attuali ed estremamente sensibili ai fattori di degrado. Sono quindi significativi dal punto di vista didattico-culturale e la loro tutela è da considerare di primaria importanza. Per quanto concerne la “valenza ecologica”, si è inteso invece adottare il grado di corrispondenza di un suolo ad un determinato ambiente, con particolare attenzione verso le fitocenosi o particolari emergenze faunistiche, così come individuate da

Tabella 3 – Criteri e pesi adottati nella espressione del giudizio “età del pedosito”.

Codifiche ISSDS97 (Gardin et al., 1998). IDF: Palexeralf; IEI: Paleudalf; GCE: Paleudult; IDG: Haploxeralf; IEK: Hapludalf; IAF: Glossaqualf; JDF: Xerochrept; JDG: Eutrochrept; KEC: Xerorthent.

Tipo di suolo	Codice	Criterio
Paleosuolo	Pa	Paleosuoli
Vetusuolo	Ve	Ultisuoli
Non Recente	NR	Alfisuoli
Recente	Re	Entisuoli ed Inceptisuoli

Tabella 4 – Assegnazione di giudizi ad alcuni suoli dell’alta Val d’Elsa

Nell’area il giudizio di “testimonianza paleoambientale” è stato assegnato alle serie Aquila (AQ), Poggio Ucello (PU), Pievescola (PV), Simignano (SM), per le seguenti ragioni:

- AQ: sono suoli poco profondi, talvolta eccessivamente drenati con scheletro abbondante siliceo, talvolta anche estremamente acidi. Il loro interesse è dovuto al notevole spessore degli orizzonti organici che tuttavia non raggiungono le condizioni necessarie per dar luogo ad orizzonti “umbrici”. Questi accumuli di sostanza organica sono dovuti ad un processo di “steppizzazione”, solo imperfettamente attivo e dovuto alla forte acidità del substrato.
- PU, PV, SM: sono suoli profondi sviluppati su depositi colluviali che possono aver sepolto paleosuoli (Paludalf, Paleudult). Presentano un più o meno marcato orizzonte eluviale ed uno argilloso. Nel caso della serie Simignano, inoltre, presentano un più o meno evidente orizzonte fragico o glossico.

Il giudizio di “valenza ecologica” è stato assegnato alle serie Aquila (AQ), Castelvechio (CA), Caggio (CG), Castiglione del bosco (CB), Poggio Ucello (PU) e quindi a tutte le loro sottounità per le seguenti ragioni:

- AQ: sono suoli franco scheggiosi, poco profondi, talvolta eccessivamente drenati, particolarmente acidi, che si vengono a formare su litologie silicee con prevalenza di scisti. Le condizioni edafiche che si instaurano in questi suoli risultano particolarmente adatte per il Castagno (*Castanea sativa*) in questi ambienti, nonostante la loro bassa quota. Castagneti ben conservati costituiscono inoltre l’habitat ideale di una specie di notevole interesse faunistico quale il Picchio rosso minore (*Picoides minor*), ma anche del Topo quercino (*Elomys quercinus*) e del Moscardino (*Muscardinus avellanarius*) (Favilli, 1998). La presenza della prima di queste specie si è ormai ridotta ai castagneti dell’Amiata, ciò si ritiene sia dovuto essenzialmente allo stato di abbandono degli altri castagneti presenti in provincia di Siena.
- CA e CB: Sono suoli molto sottili, scheletrico franchi, moderatamente alcalini, molto calcarei, ben drenati. Sostengono una vegetazione xerofila che in questi ambienti è rappresentata dalla tipica macchia mediterranea; Ginepro (*Juniperus communis*), Corbezzolo (*Arbutus unedo*), Lentisco (*Pistacia lentiscus*), Erica arborea (*Erica arborea*), Ginestra (*Spartium junceum*), Lillatro (*Phillyrea angustifolia*), etc. In questi ambienti trova il suo habitat ideale la Magnanina (*Sylvia undata*), specie di interesse faunistico.

- CG e PU: sono suoli profondi, tipici di aree di accumulo, spesso si riscontrano su doline. Data l’assenza di scheletro e l’elevata presenza di argilla sono spesso stati disboscati e portati a coltura o pascolo. Costituiscono quelle “macchie” di paesaggio agrario che si incontrano sui rilievi calcarei boscati della Montagnola e Poggio del Comune. Attualmente costituiscono le uniche aree aperte “pascolabili” dalle specie faunistiche selvatiche. Sono coperte da praterie dei pascoli abbandonati su substrato neutro-basofilo (Festuco-Brometea), formazioni erbose secche seminaturali e facies con cespugli su substrato calcareo (Festuco-Brometalia). Le specie vegetali di interesse naturalistico che vi si possono osservare sono: *Polygala flavescens*, *Digitalis micrantha*, *Calluna vulgaris*, *Physospermum cornubiense*, *Teucrium scorodonia*, *Ilex aquifolium*, *Taxus baccata*, *Helleborus bocconei* (Blasi & De Dominicis, 1998). Proteggono inoltre numerose specie di orchidee e costituiscono l’habitat ideale di alcune farfalle di notevole interesse naturalistico (*Maculinea arion*, *Brenthis hecate*, Favilli, 1998). Se coperti da formazioni forestali ospitano spesso tane di Istrice (*Hystrix cristata*), e costituiscono gli ambienti ideali per localizzare i punti di lestra e di insoglio dei cinghiali.

Tabella 5 – Criteri adottati nella valutazione dello “stato di conservazione” del suolo.

Giudizio	Codice	Criterio
Buono	B	Suoli con presenza di orizzonti “E”
Medio	M	Tutti gli altri
Scarso	S	Suoli privi di orizzonti “B”

Favilli (1998). Le prime, infatti, possono essere strettamente legate ai caratteri del suolo che le sostiene. Per “esemplarità didattica” è da intendere, infine, la presenza di particolari caratteri, conformazioni o figure pedogenetiche che rendono quel suolo particolarmente interessante ai fini didattici. Esempi di attribuzione di testimonianza ambientale e di valenza ecologica a suoli dell’Alta Val d’Elsa sono riportati in tabella 4.

La valutazione dello “stato di conservazione del pedosito” è ottenuta partendo dal presupposto che suoli ad orizzonti più complessi siano meglio conservati di altri che presentano successioni di orizzonti meno articolate. Al fine di estrapolare questo dato dalle informazioni contenute nel DB pedologico, si considerano “ben conservati” i suoli che presentano l’orizzonte eluviale “E” (rappresentato da molte codifiche diverse: AE, 2E, ecc.), “scarsamente conservati” i suoli privi di orizzonte “B” (anch’esso rappresentato da svariate codifiche). L’informazione può essere ricavata da un singolo profilo o dal profilo rappresentativo di una tipologia di suolo (Tab. 5).

Nella espressione del “grado di conoscenza” del pedosito risultano “studiat” i suoli da lungo tempo osservati e descritti, dei quali sono state effettuate analisi chimiche e fisiche sia di *routine* che specialistiche (contenuti in ferro, alluminio, silice, ecc.). Sono invece da considerare “segnalati” i suoli cartografati a scale di minor dettaglio, appartenenti a sottounità ben note e riscontrate in più luoghi. Il giudizio “non studiato” è da assegnare, infine, alle sottounità delle quali non si è ancora in possesso di sufficienti riscontri in altre zone.

Nella valutazione della “rarietà” del suolo vanno

previsti più livelli di indagine: i) scala locale, ii) scala regionale, iii) scala nazionale, iv) scala europea, v) scala mondiale. Ad ognuno di essi è assegnato un peso crescente dalla scala locale a quella mondiale. Per formulare un giudizio può essere applicato il seguente criterio (valido per tutte le scale di indagine): calcolata l’estensione media per sotto-unità EMS = Estensione area di indagine / numero totale di sottounità, si ritengono “comuni” quelle sotto-unità la cui estensione complessiva è maggiore o uguale ad EMS, “molto rare” quelle la cui estensione è minore di 1/10 EMS.

Per quanto riguarda il “rischio di degrado”, è considerato il solo fattore di degrado per erosione idrica e di massa. Questo giudizio può essere scomposto in tre livelli di indagine: imminenza del rischio, intensità del rischio e neogenesi di suolo. Il dato è identificato con il campo “erosione reale” presente nel DB pedologico.

Per la “imminenza del rischio”, la classificazione in dieci classi del DB è stata raggruppata in due classi di giudizio, “elevato” e “scarso”, come riportato in tabella 6.

Relativamente alla “intensità del rischio”, il giudizio è ottenuto prendendo in esame i tre parametri seguenti:

-“pendenza”; ad ogni poligono è assegnata una classe di pendenza ottenuta tramite interrogazione GIS del Digital Terrain Model (DTM). Le classi di pendenza sono: $p > 20\%$ e $p < 20\%$, facendo corrispondere alle maggiori pendenze un elevato rischio di degrado (E) ed a quelle minori un rischio scarso (S);

-“spessore topsoil”; è determinato dal limite inferiore del primo orizzonte non organico dalla

Tabella 6 – Classi di erosione e giudizi sulla imminenza del rischio di degrado del suolo. S: scarsa; E: elevata.

Codice	Descrizione	Giudizio
0	assenza di erosione	S
1	erosione idrica diffusa moderata	S
2	erosione idrica incanalata moderata	S
3	erosione idrica incanalata forte	E
4	erosione eolica moderata	S
5	erosione eolica forte	E
6	erosione di massa per crollo	E
7	erosione idrica diffusa forte	E
8	erosione di massa per scivolamento e scoscendimento	E
9	solifluzione e creeping	E

Tabella 7 - Criteri adottati nella valutazione della “intensità del rischio di degrado” del suolo. Coperture vegetali e classi di intensità del rischio di degrado del suolo. OT: oliveto tradizionale; OTA: oliveto tradizionale abbandonato; TP: oliveto tradizionale periurbano; SAV: seminativo arborato a vite; IP: “isole” agrarie; SF: seminativo di fondovalle; SC: seminativo collinare; RF: rimboschimento forestale; CF: copertura forestale.

Giudizio	Codice	Criterio
Elevato	E	OT; OTA; TP; SAV; IP; SF; SC;
Scarso	S	RF; CF

Tabella 8 - Litologie e giudizi sulla neogenesi di suolo. V: veloce; L: lenta.

Litologia	Descrizione	Giudizio
060	Sabbia molto grossa, media e fine (2 - 0.1 mm)	V
070	Sabbia molto fine (0.1 - 0.05 mm)	V
080	Limo (0.05 - 0.002 mm)	V
090	Argilla (<0.002 mm)	V
100	Rocce calcaree, anidritiche, gessose, dolomitiche	L
120	Rocce calcaree sedimentarie	L
121	Calcari cavernosi	L
232	Argilliti	L
251	Filladi	L
311	Marne calcaree	L
512	Flysch siltoso argilloso	V
513	Flysch marnoso arenacei	V

Tabella 9 – “fruibilità del geosito”

Accessibilità	In auto	Distanza a piedi <500 m	Distanza a piedi >500 m
Visibilità	Completa (profilo pedologico)	Parziale (superficie del suolo)	Non visibile (ad es. suolo forestale)
Osservabilità	Tutto l’anno	Stagionale	

superficie del suolo. È considerata la somma degli spessori degli orizzonti “O”, “A”, “E” del profilo rappresentativo della sottounità, facendo corrispondere a spessori inferiori a 25 cm un elevato rischio di degrado (E) ed a spessori maggiori un rischio scarso (S);

–“copertura vegetale”; è ricavata dalla tipologia colturale. La classe “scarso rischio” è stata assegnata esclusivamente ai suoli dotati di copertura forestale, secondo quanto riportato nella tabella 7.

Con la voce “neogenesi” di suolo si è inteso considerare la facilità o meno di formazione di nuovo suolo dal substrato, ritenendo che laddove vi fossero substrati più alterabili fosse anche minore il rischio di degrado. Le tipologie di substrato sono suddivise in due classi: a lenta (L, per le litologie coerenti) ed a veloce (V, per litologie incoerenti) neogenesi, riprendendo le suddivisioni già applicate nel sistema esperto FOCOSU (Gregori *et al.*, 1994) riferite però ad un maggior numero di classi (Tab. 8).

Nella tabella 9, infine, vengono suggerite alcu-

ne integrazioni alla “fruibilità del geosito” relativamente alla scheda ProGEO.

La lista dei pedositi toscani

Tra i pedologi italiani sono note alcune situazioni pedologiche particolarmente significative dal punto di vista culturale, che corrispondono ai requisiti dei pedositi. Utilizzando l’esperienza dei pedologi raccolta nella banca dati del Centro Nazionale di Cartografia Pedologica, è stata redatta la prima lista dei pedositi toscani di valenza internazionale (Tab. 10). Tale lista, pur non ricavata dall’uso specifico della scheda precedentemente illustrata, ne rispetta comunque i criteri.

Considerazioni conclusive

La disponibilità dei pedologi a fornire informazioni sui pedositi, unitamente ai risultati ottenuti

dai primi studi realizzati in varie parti d'Italia, dimostrano un interesse ed una sensibilità verso la valorizzazione dei beni culturali di carattere pedologico. Adesso ci troviamo nel momento più difficile: quello del passaggio dalla fase pionieristica a quella sistematica. Per arrivare ad una maggiore diffusione ed applicazione di questo genere di studi è indispensabile coinvolgere non solo i politici e i funzionari che amministrano il territorio, ma anche le istanze della società più sensibili ai valori ambientali.

Il fatto che la metodologia relativa a pedositi intesi come "beni culturali" sia stata applicata solo a scala locale e su base cartografica, cioè su tutti i suoli presenti in un'area (e quindi anche su quelli di scarso valore culturale), differenzia il risultato della valutazione da quelli effettuati per la realizzazione della lista dei pedositi di interesse internazionale o che vengono normalmente prodotti da altri settori disciplinari quali quello geologico o geomorfologico. La differenza più marcata è senz'altro relativa alla presentazione dei risultati, che indica una valutazione per tutti i suoli dell'area

anziché evidenziarne le sole emergenze. Dal punto di vista concettuale, però, non vi sono differenze sostanziali in quanto nel sistema informatico possono essere immagazzinati giudizi di merito riferiti sia a tipologie pedologiche, con una loro distribuzione geografica, sia a singoli siti.

Gli interventi che possono essere suggeriti per tutelare e valorizzare il valore culturale del suolo possono essere o puntuali (ad esempio su profili e su suoli di biotopi) o di carattere areale (come nel caso di paesaggi pedologici caratteristici, da inserire a pieno titolo nella tutela del valore turistico-ricreativo di un territorio). Utilizzando appropriatamente il DB è possibile mettere in evidenza di volta in volta valutazioni di carattere areale o segnalare puntualmente i pedositi maggiormente significativi.

Il software relativo ai DB utilizzati è disponibile sul sito web del Centro Nazionale di Cartografia Pedologica dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze: www.soilmaps.it

Tabella 10 - Primo parziale elenco dei pedositi di interesse internazionale presenti in Toscana

Località	Descrizione	Classificazione ¹ Soil Taxonomy, ² WRB	Valori	Criteri e classi
Val D'Orcia (SI)	Suoli <i>Orcia e Quercia</i> : suoli argillosi limosi, molto calcarei ai primi stadi di evoluzione e moderatamente evoluti (Fig. 1)	<i>Xerorthent tipici</i> ¹ e <i>Vertic Xerochrepts</i> ¹	PC	A1 I1
Isola d'Elba (LI), Lacona	Paleosuolo con petroplintite (Fig. 2)	<i>Plinthosols</i> ²	TP	R1 D2 A1 I3
San Gimignano (SI)	Suoli <i>San Gimignano</i> del paesaggio caratteristico della coltura promiscua toscana (Fig. 3)	<i>Calcari-eutric Cambisols</i> ²	PC	A1 I1
Montalcino (SI), Pod. Renieri	Paleosuolo del Pliocene inferiore (Fig. 4)	<i>Plinthosols</i> ²	TP VS	R1 D1 A2 I1
Monte Amiata, Abbadia San Salvatore (SI)	Suoli <i>Pian della Culla</i> sviluppatasi su depositi vulcanici (vulcaniti quarzoalitiche) i cui vetri caratterizzano la parte sommitale del profilo (Fig. 5)	<i>Typic Melanudand</i> ¹	ED SR	R1 D1 A1 I2
Casole d'Elsa (SI), Montagnola Senese	Suoli <i>Simignano e Pievescola</i> : Paleosuoli con fragipan e plintite (Fig. 6)	<i>Fragic Paleudalf</i> ¹ e <i>Plinthi-stagnic Luvisols</i> ²	TP	R1 D2 A1 I1
San Gimignano (SI), Poggio del Comune	Suoli <i>Poggio Ucello</i> : Terre rosse residuali e colluviali di ambiente carsico (Fig. 7)	<i>Rhodic Nitisols</i> , <i>Profondic Luvisols</i> e <i>Haplic Alisols</i> ²	TP VS	R1 D2 A1 I1
Altopascio (LU)	Suoli dei terrazzi pleistocenici dell'Arno (Fig. 8)	<i>Plinthosols</i> ²	TP	R1 D2 A1 I1
Burano (GR)	Suoli torbosi e salini	<i>Salic Histosol</i> ²	VE ED	R2 D1 A1 I2
Massaciuccoli (LU)	Suoli torbosi e solfato acidi	<i>Thionic Histosols</i> ² , <i>Typic Haplaquepts</i> ¹	VE ED	R2 D1 A1 I3

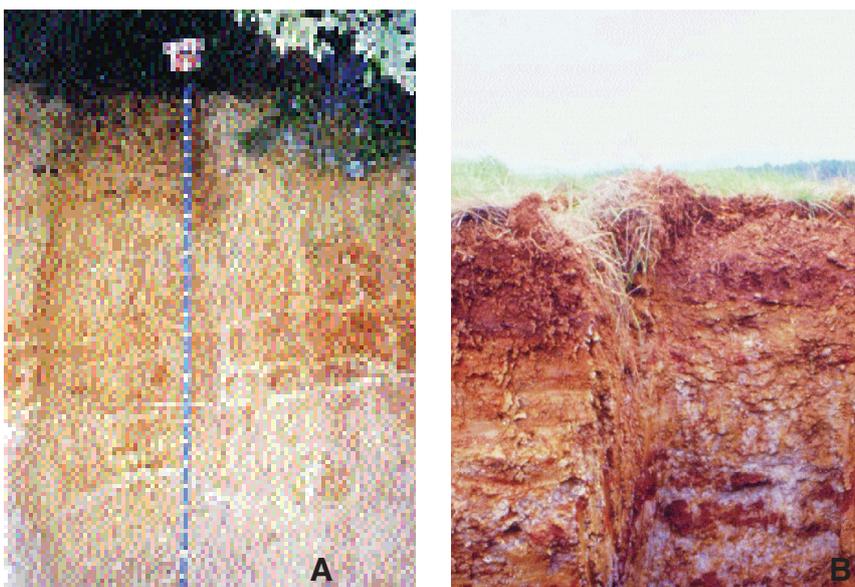


Fig. 6 - A: *Fragric Paleudalf*, paleosuoli della serie *Simignano* con fragipan. B: *Plinthic Luvisols*, paleosuoli della serie *Pievescola* con plintite. Montagnola Senese, Casole d'Elsa (SI). Valori: testimonianza paleoambientale. Criteri e classi: raro a scala internazionale, medio stato di conservazione, accessibile in auto, pubblicato.

Testi citati e di approfondimento

Arnoldus-Huyzenveld A., Gisotti G., Mossoni-Novelli R. & Zarlenga F. (1995) - *I beni culturali a carattere geologico: i geotopi. Un approccio culturale al problema*. Geologia tecnica ed ambientale, 4/95, 35-47.

Arnoldus-Huyzenveld A. & Gisotti, G. (1999) - *The planosols of the "old dunes" of Castel Porziano (Rome): a rare soil type for Italy and Europe*. The second international Symposium on the conservation of our geological heritage. Roma, 20-21 maggio 1996. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 54, Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma, 193-197.

Bazzani G. et alii (1993) - *Valutazione delle risorse naturali.*, Edagricole, Bologna.

Blasi C., De Dominicis V., Chiarucci A.,



Fig. 7 - *Rhodi-Profondic Luvisols*, Suoli Poggio Ucello: Terre rosse residuali e colluviali di ambiente carsico, Poggio del Comune, San Gimignano (SI). A: paesaggio. B: Profilo. Valori: testimonianza paleoambientale, valore scenico. Criteri e classi: raro a scala internazionale, medio stato di conservazione, accessibile in auto, pubblicato.



Gabellini A. & Morrocchi D. (1998) - *Unità ambientali e serie della vegetazione*. PTCP, Amministrazione provinciale di Siena, QC09.doc

Brenna S. & Rasio R. (1999) - *Enhancing the naturalistic functions of soils: some cases in the Lombardy region*. The second international Symposium on the conservation of our geological heritage. Roma, 20-21 maggio 1996. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 54, Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma, 181-185.

Costantini E.A.C. (1999) - *The recognition of soils as part of our cultural heritage*. The second international Symposium on the conservation of our geological heritage. Roma, 20-21 maggio 1996. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 54, Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma, 175-180.

Costantini E.A.C. (2000) - *The role of soil as an environmental filter*. Proceedings of the International School Earth and Planetary Sciences, Siena, 1998.

Costantini E.A.C., Malucelli F., Brenna S. & Rocca A. (2003) - *Using Existing Soil Databases to Consider Paleosols in Land Planning. The Case*

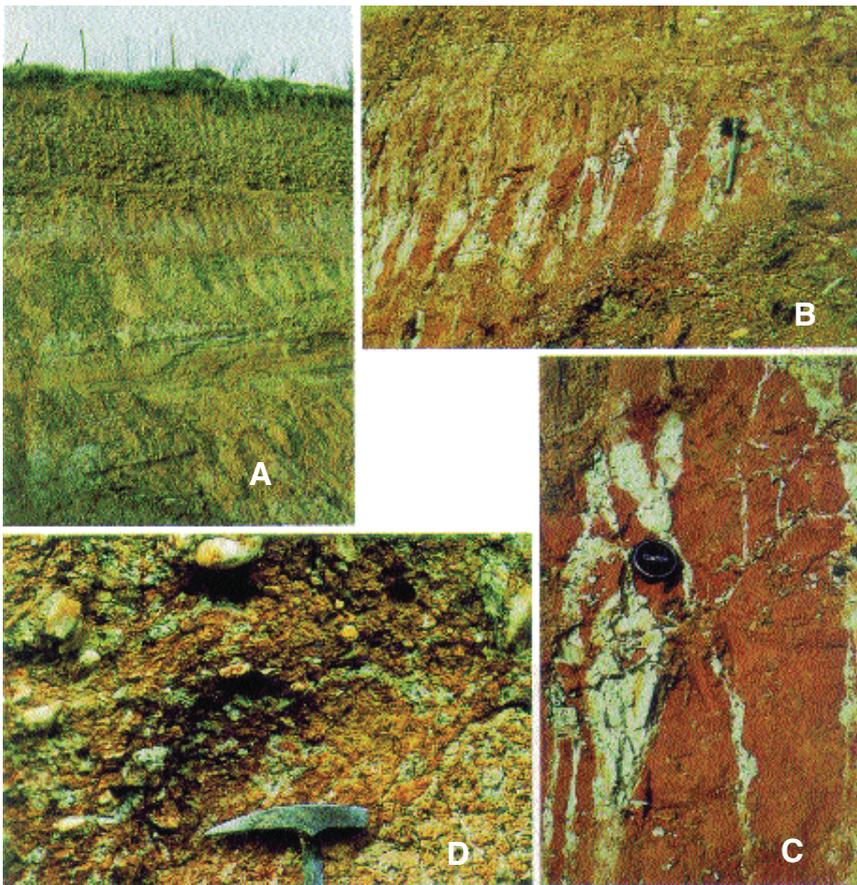


Fig. 8 - Plinthosols. A: Cava di argilla di Casa Paoletti, Altopascio (LU). B e C: Cava di Poggio Baldino, Montecarlo (LU). D: Plintite su materiali ciottolosi a Case Grugno, Orentano (PI). Valori: testimonianza paleoambientale. Criteri e classi: raro a scala internazionale, medio stato di conservazione, accessibile in auto, pubblicato. Foto: Magaldi.

Study of the Lombardy Region (Northern Italy). Atti convegno INQUA 2003, Reno, Nevada, USA.

Dazzi C. (1996) - *L'erosione genetica dell'ecosistema suolo.* Atti del convegno nazionale S.I.S.S.: "Il ruolo della pedologia nella pianificazione e gestione del territorio". Cagliari, 6-9 giugno 1995, 197-202.

Dazzi C. & Monteleone S. (1999) - *Consequences of human activities on pedodiversity of soils: a case study in a vineyard area in South-East Sicily (Italy).* Proceedings of the ESSC International Conference on "Soil Conservation in Large Scale Land Use", Bratislava, Slovak Republic, Maggio 1999, 99-108.

Di Gennaro A. (1999) - *Management and protection of valuable soil-landscapes in the urban fringe. The case of the province of Naples, Italy.* The second international Symposium on the conservation of our geological heritage. Roma, 20-21 maggio 1996. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 54, Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma, 187-192.

Favilli L. (1998) - *Analisi faunistica.* PTCP, Amministrazione provinciale di Siena, QC010.doc.

Gardin L., Napoli R. & Costantini E.A.C. (1998) - *L'archiviazione e la gestione dei dati pedologici con il software "ISSDS" ver. 2.* Genio Rurale, 4, 1998, 50-56.

Gregori E., Costantini E., Calì A., Ciolli M. & Sani L. (1994) - *Studio di un sistema esperto per la valutazione dell'efficacia protettiva della vegetazione nei confronti del suolo.* ISAFSA Comunicazioni di ricerca, 3, 145 - 177.

Gregori E., Costantini E. A. C. & Napoli R. (1999) - *Stima mediante GIS e Sistema Esperto degli effetti ambientali di diverse strategie sistematiche per il controllo dei dissesti idrogeologici.* Genio Rurale, 5, 46-54.

L'Abate G. & Costantini E.A.C. (2000) - *I suoli e la valorizzazione delle risorse naturali e culturali del territorio. Un prototipo di sistema esperto applicato in Alta Val d'Elsa.* Elsanatura, 1, 8-22.

Magaldi D., Bidini D., Calzolari C. & Rodolfi G. (1983) - *Geomorfologia, suoli ed evoluzione del territorio tra la piana di Lucca ed il padule di Fucecchio.* Ann. Ist. Sperim. Studio Difesa Suolo, Firenze, 14, 21-108.

Napoli R., Costantini E. A. C. & Gardin L. (1999) - *Un sistema informativo per le valutazioni agroambientali a scala di dettaglio e semidettaglio.* Agricoltura Ricerca, 180/181, 167 - 184.

Poli G. (1999) - *GEOSITI Testimoni del tempo, fondamenti per la conservazione del patrimonio geologico,* Servizio Paesaggio, Parchi, e Patrimonio Naturale Regione Emilia-Romagna. Bologna

Soil Survey Staff, USDA (1997) - *Keys to Soil Taxonomy.* seventh Edition. Pocahontas Press, Inc. Blackburg Virginia, USA.

La rivista si articola nelle seguenti parti:

LA PAGINA DELL'ACCADEMIA

CONTRIBUTI

Comprende articoli sui più svariati aspetti del patrimonio naturale, con particolare riferimento al territorio della Toscana meridionale. Lunghezza: da 3 a 20 pagine stampate, comprensive di figure; preferibile da 5 a 15 pagine.

IL PUNTO DELLA SITUAZIONE

Ospita articoli che fanno il punto su iniziative riguardanti la conoscenza, la tutela, la valorizzazione e la gestione del patrimonio naturale.

Lunghezza: fino a un massimo di 5 pagine comprese le figure.

ORIZZONTI

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

Lunghezza: fino a un massimo di 5 pagine comprese le figure.

IO, IL LETTORE

Spazio aperto per opinioni, domande, critiche, ecc.

Lunghezza: fino a un massimo di 3 pagine.

LA PAROLA ALL'IMMAGINE

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

Lunghezza: fino a un massimo di 4 pagine.

SCHEDE NATURALISTICHE

Articoli con carattere di scheda relativi a elementi del patrimonio naturale.

Lunghezza: fino a un massimo di 5 pagine comprese le figure.

Tutti i testi, completi di illustrazioni e didascalie, devono essere redatti secondo le seguenti modalità:

- Titolo generale: font Gill Sans grassetto, corpo 22;
- Nome dell'autore/i: va scritto sotto al titolo in font Times New Roman, corsivo, corpo 14, corredato di indirizzo nello stesso font, tondo, corpo 11;
- Testo dell'articolo o contributo: font Times New Roman, corpo 11,5, interlinea 15;
- Capoversi con rientro.

Solo per i CONTRIBUTI:

- Il testo deve essere preceduto da un "flash" introduttivo da cui emerga il contesto di origine dell'articolo e che dovrà essere redatto in font Times New Roman, corsivo, corpo 12, interlinea 18;
- Illustrazioni, disegni, foto dovranno essere indicati come figure e corredati da didascalia;
- I riferimenti bibliografici nel testo vanno scritti fra parentesi con il solo cognome dell'autore/i seguito da una virgola e dall'anno di pubblicazione - es.: (Blackburn, 1982); (Angelini & Ghiara, 1991); (Galassi *et. al.*, 1994);
- Le citazioni bibliografiche per esteso dei testi consultati, citati e di approfondimento dovranno essere collocate alla fine dell'articolo. Esempi di citazioni:

Angelini F. & Ghiara G.F. (1991) - *Viviparity in squamates*. In: "Symposium on the evolution of terrestrial vertebrates" (Ghiara *et al.*, eds.) Selected Symposia and Monographs U.Z.I., Mucchi, Modena, 4, 305-334.

Barbanti P. (1999) - *Notizie di Politeia*. Rivista di etica e scelte pubbliche, 15 (54), 82-90.

Blackburn D.G. (1982) - *Evolutionary origins of viviparity in the Reptilia*. I. Sauria. Amphibia-Reptilia, 3, 185-205.

Del Zanna P. (1899) - *I fenomeni carsici nel bacino dell'Elsa*. Boll. Soc. Geol. It., 18, 315-323.

Galassi S., Rossi M. & Provini A. (1993) - *Metalli pesanti e microinquinanti organici nei sedimenti e negli organismi del Po*. Acqua Aria, 6, 619-625.

Le illustrazioni dovranno essere fornite su CD in files con risoluzione 300 dpi separatamente dal testo. Testi e foto con relative copie cartacee dovranno essere inviati a: **Etruria*natura***, Accademia dei Fisiocritici, Piazzetta Silvio Gigli, 2 - 53100 Siena; e-mail: etrurianatura@unisi.it; tel. e fax: 0577 47002.

Il Comitato editoriale si riserva ogni facoltà di accettare i testi e di proporre agli autori eventuali modifiche in linea con il carattere della rivista.

Possono essere accettate inserzioni pubblicitarie da parte di università, scuole, musei, parchi, associazioni, istituzioni professionali o aziendali e di quanti altri abbiano in qualche modo relazione con la conoscenza, la gestione, la tutela e la valorizzazione del patrimonio naturale. Gli interessati possono rivolgersi al Comitato editoriale del periodico anche tramite e-mail.

Etruria natuura

