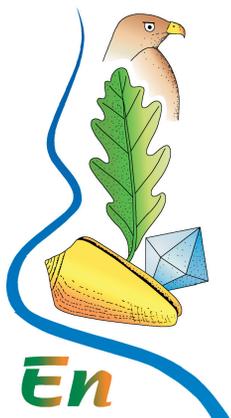


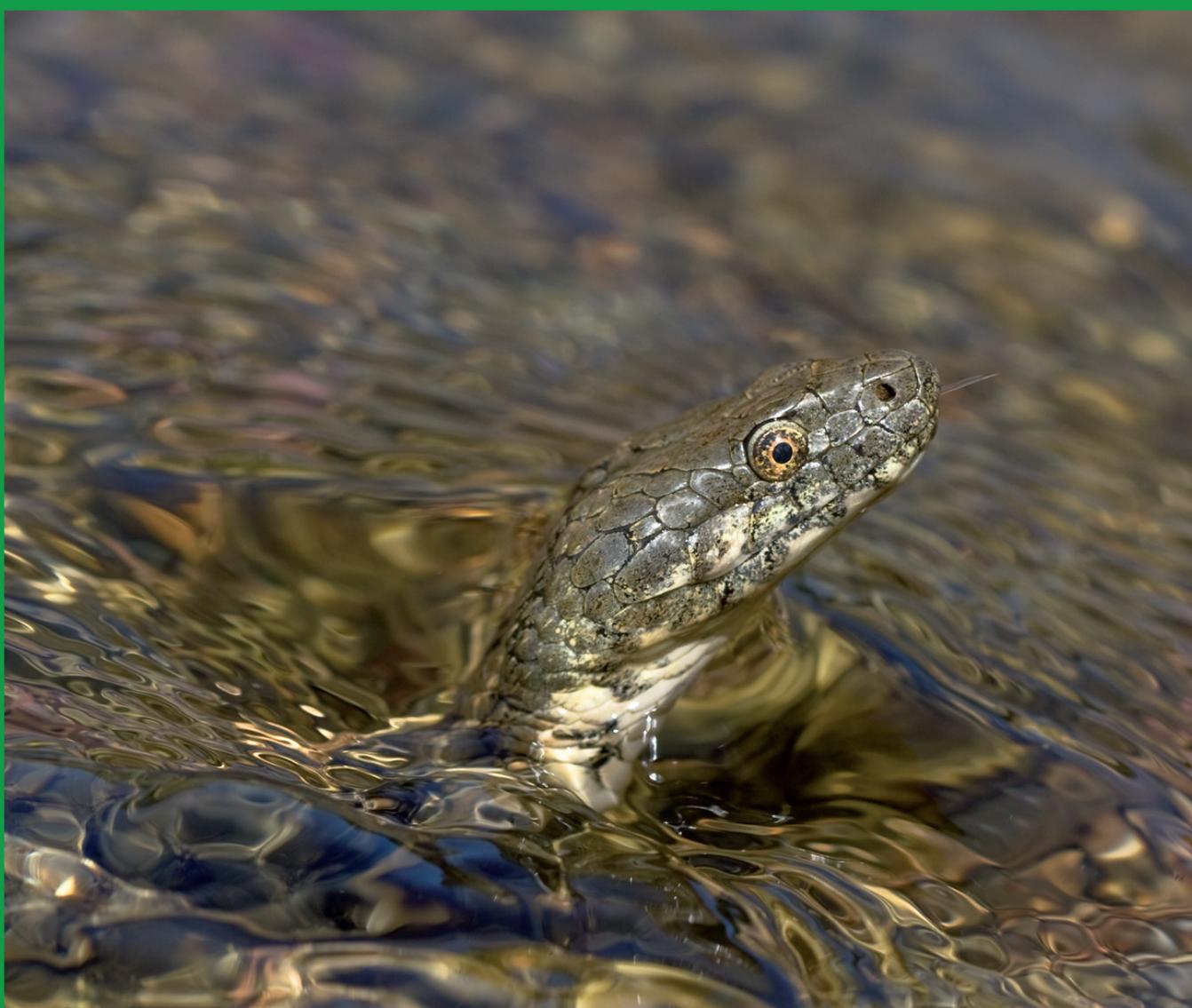
Anno VI - 2009



# Etruria *natura*

*una finestra sul territorio*

Periodico scientifico-divulgativo della Accademia dei Fisiocritici





Anno VI - 2009

# 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](mailto:etrurianatura@unisi.it)

## **Registrazione**

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

## **Direttore responsabile**

BACCIO BACCETTI NICCOLINI

## **Comitato editoriale**

VINCENZO DE DOMINICIS

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Via P. A. Mattioli 4 - 53100 Siena. Tel. 0577 232864

ROBERTO FONDI

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 - 53100 Siena. Tel. 0577 233824

GIOVANNI GUASPARRI

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Via Laterina 8 - 53100 Siena. Tel. 0577 233956

ROBERTO MAZZEI

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 - 53100 Siena. Tel. 0577 233801

LUANA PAULESU

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Fisiologia, Via A. Moro - 53100 Siena. Tel. 0577 234224

## **In copertina**

Biscia tassellata, *Natrix tessellata* (Laurenti, 1768)

## **IV di copertina**

Ramarro occidentale, *Lacerta bilineata* Daudin, 1802

## **Impaginazione e stampa**

Edizioni Cantagalli

Via Massetana Romana 12 - 53100 Siena

Tel. 0577 42102 - Fax 0577 45363



Pubblicazione realizzata con il contributo dell'Amministrazione Provinciale di Siena

# Sommario

*Sommario*

---

## Presentazione

---

### La pagina dell'Accademia

- 8 “Non è tutta egualmente ritonda”. L'osservazione della Luna col cannocchiale di Galileo nell'estate del 1633 a Siena  
*Annalisa Pezzo*

---

### Contributi

- 14 Galileo punta verso il cielo il suo cannocchiale: quattrocento anni dopo  
*Vincenzo Millucci*
- 20 Il lato nascosto di Darwin  
*Roberto Fondi*
- 39 Stime avanzate di pericolosità sismica nell'Appennino settentrionale  
*Marcello Viti, Enzo Mantovani, Daniele Babbucci, Caterina Tamburelli, Nicola Cenni, Franca Falciani, Andrea Vannucchi*
- 48 Le oscillazioni climatiche del Quaternario, con un modello concettuale dei fattori determinanti  
*Roberto Mazzei, Marco Pozzi*
- 62 Travertini e *calcareous tufa*, carbonati continentali di ambiente subaereo  
*Anna Gandin, Enrico Capezzuoli*
- 76 I cambiamenti delle dinamiche costiere e la nascita della Laguna di Orbetello  
*Silvia Ravani, Mauro Coltorti*
- 87 Stato di salute e fauna ittica di due praterie di *Posidonia oceanica* a differente livello di protezione ambientale  
*Francesca Borghini, Andrea Colacevich, Tancredi Caruso, Daniele Grech, Sara Zucchi, Guido Perra, Silvano Focardi*

---

### Il punto della situazione

- 98 La crisi alimentare mondiale: cause, inganni e proposte  
*Giovanni Monastra*

---

### Orizzonti

- 114 I geositi come beni naturali non rinnovabili da identificare, censire, conservare e far conoscere  
*Roberto Fondi, Roberto Mazzei, Niccolò Baldassini*
- 122 Il Sistema Museale dell'Ateneo di Siena: una realtà in continuo sviluppo  
*Angela Tavone*

---

## **Io, il lettore**

- 128 Come far percepire il legame fra la Natura e lo sviluppo culturale:  
un programma formativo per gli alunni della Scuola elementare  
*Simona Serpi*

---

## **La parola all'immagine**

- 132 La terra che fuma: le "biancane" di Monterotondo Marittimo (GR)  
*Gruppo fotografico "Il Graffio"*

---

## **Schede naturalistiche**

- 138 Risorse minerarie del Senese: giacimenti miniere e cave ieri e oggi  
*Cesare Betti, Luca Caselli, Giancarlo Pagani*

---

## **Etruri@natura**

- 156 Conservare per garantire il futuro  
*Silvia Aurigi, Francesca Cagnani, Lorenza Chiantini*



*Due ricorrenze importanti* – Esattamente quattro secoli fa, in Italia Galileo puntava per la prima volta il suo cannocchiale verso il cielo notturno, ed esattamente due secoli fa in Inghilterra nasceva Darwin. Il 2009, dunque, segna due ricorrenze importanti della storia della scienza e della cultura occidentale, ed **Etruria** *natura* ha voluto onorarle con tre articoli. Il primo di questi rievoca la permanenza di Galileo a Siena nell’agosto del 1633, ospite dell’arcivescovo Ascanio Piccolomini Aragona, e le osservazioni della Luna con il cannocchiale effettuate da entrambi dalla loggia del Palazzo delle Papesse (Annalisa Pezzo); il secondo, oltre a ribadire il valore del metodo scientifico e dello stretto binomio Scienza-Tecnica sui quali tanto giustamente insisteva lo scienziato pisano, fa altresì rivivere le emozioni che questi dovette provare in seguito alle prime scoperte consentite dal suo strumento astronomico (Vincenzo Millucci); il terzo riesamina la vita ed il pensiero di Darwin da una prospettiva storico-critica non convenzionale (Roberto Fondi). Siamo certi che questi contributi non mancheranno di riscuotere l’interesse di ogni appassionato di storia della Scienza.

*Gli altri articoli* – Il terremoto che di recente ha colpito e devastato il territorio d’Abruzzo ha nuovamente messo in evidenza non soltanto la fragilità del nostro Paese, ma anche la nostra incapacità di tutelarci nei confronti di eventi come questo tramite un’adeguata progettazione e costruzione di edifici stabili. D’altra parte, se è impossibile prevedere i luoghi ed i tempi esatti nei quali si verificheranno terremoti, specialisti in materia ribadiscono che per alcune zone italiane è possibile riconoscere con un anticipo di anni l’avvicinarsi di periodi di elevata pericolosità sismica: messaggio di capitale importanza di cui soprattutto gli organi politico-amministrativi dovranno tener conto (Marcello Viti, Enzo Mantovani, Daniele Babbucci, Caterina Tamburelli, Nicola Cenni, Franca Falciani e Andrea Vannucchi). Altre tematiche di questo numero non meno attuali ed importanti di quella ora delineata concernono la crisi alimentare mondiale e la fluttuazione climatica. La prima è analizzata a fondo con grande lucidità e senza risparmio di critiche (Giovanni Monastra). La seconda è spiegata illustrandone i fattori determinanti e, più in particolare, sottolineando il ruolo essenziale svolto in essa da quella “componente invisibile” della biosfera costituita dal fitoplancton a Cocolitoforidi (Roberto Mazzei e Marco Pozzi).

Il rimanente della rivista include: un’accurata analisi e classificazione dei depositi calcarei continentali di ambiente subaereo (Anna Gandin e Enrico Capezzuoli); una ricostruzione dell’evoluzione della Laguna di Orbetello in base alla “lettura” del suo assetto geomorfologico (Silvia Ravani e Mauro Coltorti); un esame comparativo dello stato di salute di due praterie a Posidonia del fondo marino dell’Isola di Pianosa e del Monte Argentario, assieme alla

relativa fauna ittica (Francesca Borghini, Andrea Colacevich, Tancredi Caruso, Daniele Grech, Sara Zucchi, Guido Perra e Silvano Focardi); una messa a punto su ciò che può e deve essere fatto per l'identificazione, il censimento, la salvaguardia e la valorizzazione di geositi (Roberto Fondi, Roberto Mazzei e Niccolò Baldassini); una presentazione del Sistema Museale dell'Ateneo di Siena e delle sue attività didattiche, divulgative e formative (Angela Tavone); il resoconto dell'attuazione di un progetto educativo della Scuola Primaria Statale di Follonica, finalizzato a far percepire agli alunni il legame Natura-sviluppo culturale (Simona Serpi); un *excursus* storico relativo alle principali attività minerarie del territorio senese, con un aggiornamento su tutte le risorse estrattive del medesimo (Cesare Betti, Luca Caselli e Giancarlo Pagani); una navigazione sul web alla ricerca di banche-dati concernenti la conservazione di germoplasmici per la tutela della biodiversità (Silvia Aurigi, Francesca Cagnani e Lorenza Chiantini).

Quanto ai fotografi de "Il Graffio", anche quest'anno essi non si sono smentiti, proponendoci il paesaggio quasi dantesco delle "biancane" di Monterotondo Marittimo ed accompagnandolo con un corredo smeraldino, grigio e variopinto di ramari, rane, salamandre, gechi, bisce e tritoni che darà gioia a tutti gli appassionati di erpetologia.

*Suggerimenti agli autori per i prossimi numeri* – A quanti da ora in poi vorranno pubblicare in **Etrurianatura**, ci permettiamo di rivolgere considerazioni e suggerimenti relativi sia ai contenuti che al taglio degli articoli.

Per quanto riguarda i contenuti degli articoli, compito della rivista è spaziare in tutte le direzioni che abbiano a che fare con la conoscenza del patrimonio naturale. Ma se è così, si domanderà il lettore, perché nel presente nume-

ro ci sono ben sei articoli di Scienze della Terra e soltanto uno di Scienze della Vita? È chiaro che, al di là della validità degli articoli stessi, qualcosa non ha funzionato come doveva. Forse fino ad oggi, nel nostro *calling for papers*, non siamo stati sufficientemente capaci, come in altre occasioni, di coinvolgere cultori di altri settori neppure nell'ambito della Facoltà di Scienze del nostro stesso Ateneo. Pertanto sollecitiamo di nuovo e con più forza la collaborazione di colleghi, amici ed appassionati naturalisti in generale, sottolineando ancora una volta il fatto che la rivista rappresenta un'occasione unica, non soltanto per "aprire una finestra sul territorio" e farne conoscere le componenti, ma anche per rendere visibili al grande pubblico sia attività istituzionali e professionali, sia capacità personali.

Per quanto riguarda, invece, il taglio da dare agli articoli, compito della rivista è fare attività scientifico-divulgativa. Questa attività può procedere sia da un livello più "elevato" e distaccato, sia da un livello più "popolare" e confidenziale. Ci vanno bene entrambi. In ogni caso, ciò che conta è che tutto si svolga sempre nel pieno rispetto della scientificità e della comprensibilità, in quanto siamo convinti che anche le ricerche più importanti e complesse, per risultare utili, debbano essere messe alla portata del vasto pubblico.

Il Comitato editoriale

## La pagina dell'Accademia

*La pagina dell'Accademia*



Colubro liscio, *Coronella austriaca* (Laurenti, 1768)  
Foto "Il Graffio", Follonica

# “Non è tutta egualmente ritonda”. L’osservazione della Luna col cannocchiale di Galileo nell’estate del 1633 a Siena

Annalisa Pezzo

Biblioteca comunale degli Intronati, Via della Sapienza 1-5 – 53100 Siena  
annalisa.pezzo@biblioteca.comune.Siena.it

*Il 2009 è designato dall’Unesco Anno Internazionale dell’Astronomia. La scelta di quest’anno va a coincidere con il compimento di 4 secoli dacché Galileo Galilei divenne il primo uomo a scrutare il cielo con un telescopio. L’Accademia dei Fisiocritici coglie questa occasione per presentare ai lettori una documentazione storica relativa all’osservazione con il cannocchiale della Luna durante il soggiorno senese dello scienziato.*

Il soggiorno di Galileo a Siena, nella seconda metà dell’anno 1633, rappresenta uno dei periodi della vita dello scienziato pisano meno conosciuti e indagati dai biografi e dagli storici, le cui ricostruzioni si sono basate – per questo semestre – quasi esclusivamente sull’epistolario galileiano<sup>1</sup>. Com’è noto, artefice della venuta di Galileo a Siena fu l’arcivescovo Ascanio Piccolomini, capace di sottrarre il non più giovane amico alle asperità dell’esecuzione della condanna del Sant’Uffizio e di fungere (fingere, diremmo meglio) da “carceriere” durante questo improvvisato confino.

Ascanio, uomo aperto e di notevole curiosità intellettuale<sup>2</sup>, fu dedito essenzialmente agli studi di carattere scientifico. Era nato e cresciuto a Firenze dove il padre<sup>3</sup>, precettore dell’erede del granducato mediceo Cosimo, era già in rapporti di familiarità e amicizia con Galileo; questi in estate, terminate le lezioni all’ateneo di Padova, faceva ritorno in Toscana e impartiva lezioni di matematica al principe, al giovane Ascanio (pressoché coetaneo) e ai suoi due fratelli<sup>4</sup>. I rapporti dello scienziato con la famiglia Piccolomini si mantennero assidui, come testimoniano gli scambi epistolari intrattenuti prima con Silvio, poi con i figli.

Laureatosi a Bologna in *utroque iure* nel 1622<sup>5</sup>, Ascanio intraprese la carriera ecclesiastica, per divenire, dopo qualche anno al servizio dei Barberini a Roma, arcivescovo di Siena nel 1628, continuando tuttavia grazie a quella sua formazione a coltivare interessi scientifici e letterari.

Alla vigilia della pubblicazione, nel 1632, del

*Dialogo dei Massimi Sistemi* che valse poi a Galileo la condanna del Santo Uffizio, il Piccolomini è prodigo di incoraggiamenti e di consigli, mostrando di sostenerlo nella difficoltà e di dividerne le opinioni<sup>6</sup>; l’anno successivo, poco prima che l’amico venisse convocato a Roma dal tribunale, gli scrive con preoccupata lungimiranza a proposito delle “traversie ch’al solito si preparano contro la sua opera”: “Strano parmi ch’ad una così fresca e puntual approvazione, cautelata da lei con tanti protesti, facci difficoltà la passione di qualch’uno, che caverà l’ombra non dall’opera, ma da conseguenze fatte di capriccio, perché il libro per sé medesimo non so che possa se non ampiamente edificar qualche timida e scrupolosa coscienza. Ma d’altro canto V. S. si merita questo e peggio, mentre a poco a poco va disarmando quelli che siedano all’impero delle scienze, e pur troppo non gl’è altro rimasto che ’l fuggirsene in sagrato. Io non posso dir altro, se non che quelle cose che tendano all’immortalità non hanno da temere la burrasca de’ tempi. Séguiti pur ella in metter al chiaro i suoi concetti e fatiche, ch’io mi prometto ch’ella medesima le vedrà superare d’invidia”<sup>7</sup>.

Subito dopo il processo, la sentenza e l’abituazione, Ascanio si adopera con successo affinché Galileo, provato anche nel fisico dalle vicende occorsegli e con prospettive future assai incerte, possa veder commutata la condanna al “carcere formale” nel soggiorno coatto a Siena, sotto la sua stretta vigilanza.

Il 9 luglio Galileo giunge a Siena, dove risiederà fino al 19 dicembre, in attesa che maturino

condizioni favorevoli per un rientro a Firenze. Numerose lettere del suo carteggio trasmettono il fervido clima di curiosità, e anche di dibattito, subito creatosi attorno all'illustre ospite, a dispetto dei controlli e della sorveglianza esercitata dalla Congregazione del Santo Uffizio<sup>8</sup>.

Venne accolto in casa dell'arcivescovo ma, dalle lettere pervenute, non si evince se si trattasse dell'arcivescovo o del Palazzo delle Papesse, anche se è assai probabile che abitasse proprio qui dal momento che in quest'epoca gli arcivescovi della città usavano abitare nelle loro residenze private, date le precarie condizioni in cui versava ormai il palazzo arcivescovile, poi abbattuto nel 1658<sup>9</sup>. Durante questo periodo, che si rivela assai gradevole e felice, sempre descritto con parole di apprezzamento da Galileo, egli intratteneva – secondo le sue stesse parole – quotidiane

conversazioni erudite con l'arcivescovo e con il giovane filosofo Alessandro Marsili<sup>11</sup>, ma altri nomi emergono tra i suoi frequentatori abituali o occasionali in quei mesi, come quelli del rettore dell'Opera del Duomo Lattanzio Finetti, dell'arcivescovo di Chiusi Giovan Battista Piccolomini, di quello di Grosseto Girolamo Tantucci e del rettore dello Spedale di Santa Maria della Scala Agostino Chigi.

La vicenda di Galileo ebbe risonanza in tutta Europa e le informazioni sul suo soggiorno senese si diffondevano tra i suoi numerosi ammiratori ed amici e negli ambienti intellettuali a lui favorevoli. Anche chi capitava a Siena di passaggio si recava a salutarlo o a conoscerlo, come accadde – secondo il racconto di Nicolas-Claude Fabri de Peiresc a Pierre Gassendi – al poeta Marc-Antoine Girard de Saint-Amant: “Nous

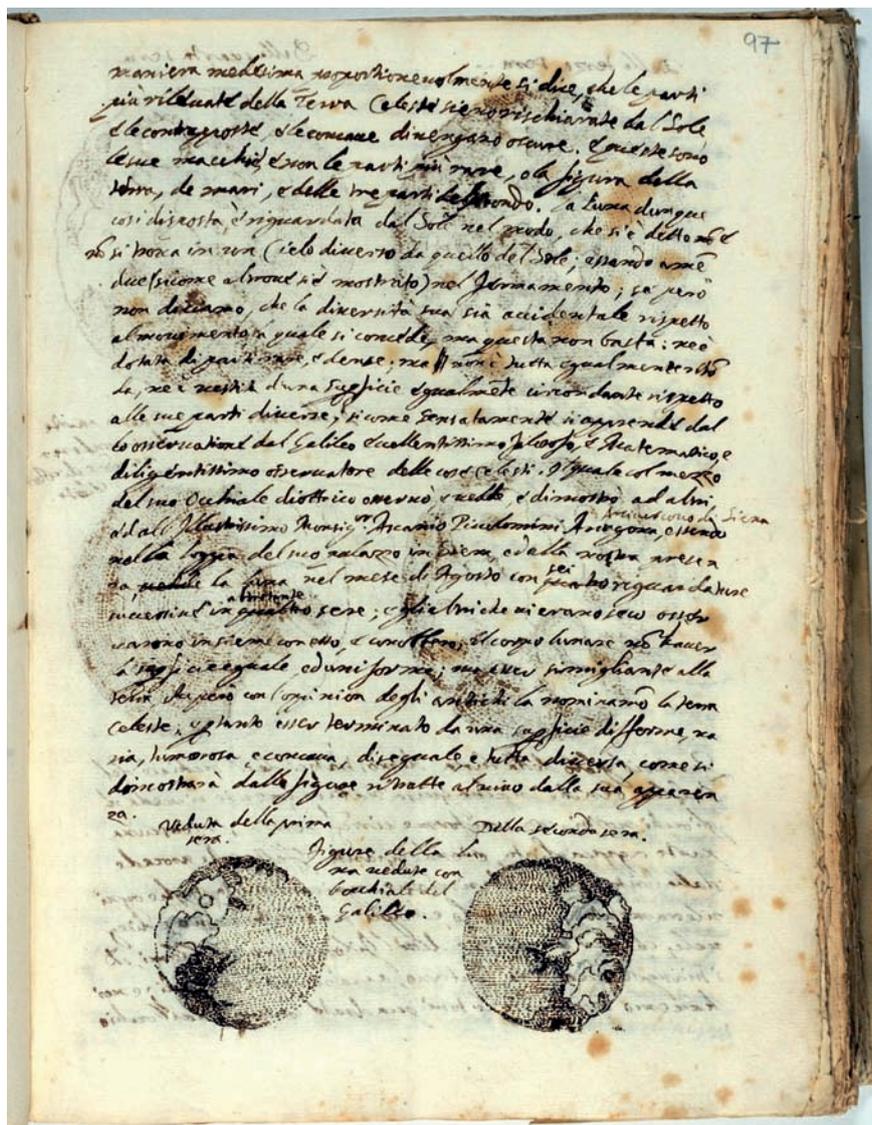


Fig. 1 - Teofilo Gallaccini, “Figure della luna vedute con l’occhiale del Galileo”, in *Monade Celeste, o vero Trattato di Cosmografia*, Siena, Biblioteca comunale degli Intronati, ms L.VI.32, c. 97r.

avons depuis gouverné icy tout dimanche le S.<sup>r</sup> de S.<sup>r</sup> Aman [...] qui [...] a veu [...] à Sienne le S. Galilei chez L’Archevesque, où il avoit un logement tapissé de soye e fort richement emmeublé [...]. Le Galilei luy monstra quelque nombre de lettres missives fort curieuses sur divers subjects, lesquelles il estoit aprez de faire mettre sous la presse, dont plusieurs estoient adreeses a une sienne fille religieuse, lesquelles ne lassoient pas d’estre sur les subjects des matieres traictées en ses livres”<sup>12</sup>.

Nella favorevole atmosfera del ritiro senese Galileo attese a nuovi studi di meccanica che portarono alla stesura dell’opera *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, data poi alle stampe in Olanda nel 1638. A tale proposito egli stesso ricorda che: “in Siena in casa Monsig. Arcivescovo [...] composi



Fig. 2 - Teofilo Gallaccini, “Figure della luna vedute con l’occhiale del Galileo”, in *Monade Celeste, o vero Trattato di Cosmografia*, Siena, Biblioteca comunale degli Intronati, ms L.VI.32, c. 97v.

un trattato di un argomento nuovo, in materie di meccaniche, pieno di molte speculazioni curiose ed utili”<sup>13</sup>.

In questo quadro si inserisce la notizia, riferita da Teofilo Gallaccini<sup>14</sup> – allora lettore di logica e matematica allo Studio Senese – nel trattato *Monade celeste*<sup>15</sup>, di un’osservazione della luna attraverso il cannocchiale di Galileo effettuata dalla loggia di Palazzo delle Papesse durante il mese di agosto del 1633, cui egli aveva assistito in compagnia di altri convenuti<sup>16</sup> (Figg.1-2). Discettando a proposito della Luna, Gallaccini nota che “non è tutta egualmente ritonda, né è vestita d’una superficie egualmente circondante, rispetto alle sue parti diverse; siccome sensatamente si apprende dalla osservazione del Galileo Eccellentissimo Filosofo, e Matematico, e diligentissimo osservatore delle cose celesti. Il quale col mezzo del suo Occhiale diottrico osservò, e vedde, e dimostrò ad altri, ed all’Illustrissi-

mo Monsig.<sup>or</sup> Ascanio Piccolomini Aragona Arcivescovo di Siena, essendo nella Loggia del suo palazzo in Siena, ed alla nostra presenza, la Luna nel mese di Agosto con sei riguardature successive in altrettante sere; e gli altri che vi erano seco osservarono insieme con esso, e conobbero, il corpo lunare non haver la superficie eguale, ed uniforme; ma esser simigliante alla Terra, che però con l’opinione degli antichi, la nominammo la terra celeste; e pertanto esser terminato da una superficie difforme, varia, humorosa, e concava, diseguale, e tutta diversa, come si dimostrerà dalle figure ritratte al vivo dalla sua apparenza”<sup>17</sup>. Una delle più stringenti osservazioni galileiane, espressa nel *Sidereus Nuncius* già nel 1610, riguardava la “natura terrestre” della Luna, dimostrata attraverso l’impiego del cannocchiale che rendeva visibile una conformazione simile a quella della Terra; venivano così smentite

diverse obiezioni rivolte all’ipotesi copernicana, compresa quella che la natura terrestre di un pianeta ne impedirebbe il movimento. In considerazione di ciò, se aggiungiamo che Galileo aveva giurato di non “tenere, difendere né insegnare in qualsivoglia modo, né in voce né in scritto” la “falsa opinione” del moto del Sole e della stabilità della Terra<sup>18</sup>, è facile cogliere la portata di questo episodio.

In qualità di pubblico lettore dello Studio la partecipazione di Gallaccini – nelle cui parole si intravede una timida adesione alle nuove teorie – assume rilevanza alla luce del fatto che, in seguito al processo di Galileo, notifiche della sentenza e della sua abiura erano state inviate a tutti i docenti di fisica e di matematica delle varie università, compresa quella senese<sup>19</sup>. E non è forse una singolare coincidenza che proprio in quell’anno accademico 1633-1634, egli non abbia potuto ricoprire il suo ruolo di lettore “per non

aver scolari”<sup>20</sup>. Nei mesi successivi alla partenza dell’amico scienziato, del resto, Ascanio Piccolomini ricevè una denuncia anonima, che non ebbe esito, inviata da Siena al tribunale del Sant’Uffizio, nella quale l’arcivescovo era accusato di aver fomentato Galileo nella diffusione in città di “opinioni poco cattoliche”<sup>21</sup>.

All’episodio descritto da Gallaccini non si accenna esplicitamente nel carteggio, ma sembra riferirvisi un gruppo di lettere tra Galileo e Geri Bocchineri risalenti a quella medesima estate del 1633. Galileo attende che gli vengano inviate da Firenze alcune lenti da cannocchiale appartenenti al Granduca che, egli scrive, “Mons. Arcivescovo sta con ansietà aspettando [...] per far alcune osservazioni mentre l’opportunità del cielo ce lo permette”<sup>22</sup>. Le lettere in questione datano dal 16 luglio al 4 agosto 1633, quando i vetri erano già giunti a destinazione. È assai probabile, quindi, che si tratti delle lenti del cannocchiale utilizzato per l’osservazione della Luna che ebbe luogo, appunto, nel mese di agosto, per sei serate successive.

Le esperienze astronomiche di Galileo dovettero lasciare un’eco in città se qualche tempo dopo Alessandro Marsili, la cui affettuosa consuetudine con l’amico si manterrà nel tempo, gli scrive da Siena: “Stando ora in villa, la sera ci tratteniamo alcuni Signori ed io in guardare col canochiale la luna, godendo poter così onorarmi di quello che la mia debolezza apprese sotto l’auspiti di V.S. Ecc.<sup>ma</sup>, ché, come ho detto a quei signori, confesso haver più imparato in pochi mesi dal mio Sig.r Galileo, che non ho fatto poi in tutte le mie fatiche da altri [...]”<sup>23</sup>.

Ascanio poi, al quale Galileo aveva fatto dono di un “occhiale eccellentissimo”<sup>24</sup>, molti anni più tardi, all’epoca della sua amicizia con Lorenzo Magalotti, in un’elegia a lui dedicata in cui lo invita a godere insieme della quiete della campagna, si dice certo che non si priverà di quel cannocchiale: “Neve Tubus deerit Galilei munus Amici / Qui tibi sidereas devocet Axe faces”<sup>25</sup>.

Il presente testo si configura come una sintesi, solo in minima parte rielaborata, del saggio “*Quasi in privata accademia*”. Il Palazzo delle Papesse ai tempi di Ascanio I e II Piccolomini, pubblicato nel catalogo della mostra *Il palazzo delle libertà* (Siena, Palazzo delle Papesse, 20 giugno-28 settembre 2003), Gli Ori, Siena-Prato 2003, pp. 189-198 e successivamente in Elisa Bruttini, Fabio Gabbrielli, Annalisa Pezzo, Marco Pierini, *Il Palazzo delle Papesse a Siena*, ali, Asciano 2006, pp. 72-96.

## Note

<sup>1</sup> L’intero carteggio è pubblicato in *Le opere di Galileo Galilei. Edizione nazionale...*, 20 tomi in 21 voll., Tipografia di G. Barbera, Firenze 1890-1909.

<sup>2</sup> Firenze 1597-Roma 1671. Figlio di Silvio Piccolomini fu arcivescovo di Siena dal 1628. Per non confonderlo con l’omonimo zio – anch’esso arcivescovo di Siena dal 1588 al 1597 – è spesso ricordato come Ascanio II.

<sup>3</sup> Su di lui si vedano in particolare: Curzio Ugurgieri della Berardenga, *Pio II Piccolomini, con notizie su Pio III e altri membri della famiglia*, Olschki, Firenze 1973, pp. 545-548; Andrea Francioni, *Silvio Piccolomini Gran conestabile dell’Ordine di Santo Stefano e il Sacco di Bona (16 settembre 1607)*, in “Accademia dei Rozzi”, VII, 12, giugno 2000, pp. 17-21.

<sup>4</sup> C. Ugurgieri della Berardenga, *Pio II Piccolomini...* cit., p. 547; su Ascanio allievo di Galileo si vedano anche: Vincenzo Viviani, *Racconto storico della vita di Galileo (1654)*, in *Le opere di Galileo...* cit., XIX, 1907, pp. 597-632, p. 628 nota 12; Laura Corso, *Relazioni fra Lorenzo Magalotti e Ascanio II Piccolomini Arcivescovo di Siena (da un carteggio inedito)*, in “Bullettino Senese di Storia Patria”, VIII (XLIV) 1937, pp. 335-364, 337. Dei fratelli di Ascanio il maggiore, Enea, fu come il padre al servizio dei Medici, Ottavio invece fu condottiero dell’esercito imperiale. La sua fama è legata in particolare alla Guerra dei Trent’anni: firmò, infatti, in rappresentanza dell’imperatore, la pace di Westfalia e Friedrich Schiller ne fece il protagonista de *I Piccolomini*, seconda parte della trilogia *Wallenstein*.

<sup>5</sup> L. Corso, *Relazioni fra Lorenzo Magalotti...* cit., p. 337 nota 1.

<sup>6</sup> Lettera del 28 maggio 1631: “Con la curiosità che meritan l’opere sue attenderò alla luce il suo Dialogo, che mi si supponeva finito, quando, vedendo la remissione con ch’ella discorre delle sue fatiche, son caduto in sospetto ch’ella di novo l’habbi abbandonato: e benché sommamente commendi la prudenza con che ne parla, mi ricordo in ogni modo ch’ella ebbe altre volte concetto di far conoscere al mondo che non per mancanza d’osservazione e d’ingegno, ma per humil elezione d’ubbidienza, abbandonava quell’osservazioni ch’ormai ne’ paesi oltramontani son generalmente tenute per dimostrate, il che non poteva seguire senza relevante beneficio publico. Io so quel che m’auguro a gloria di cotesta patria e del secolo; ma quand’ella persistesse in voler cedere a i tempi, almeno assicuri nell’habilità de’ sua amici quel ch’una volta venne desiderato a voce publica, massime havend’ella sempre desiderato più l’applauso dell’intelligenti che della moltitudine (*Le opere di Galileo...* cit., XIV, 1904, pp. 267-268).

<sup>7</sup> Lettera del 29 settembre 1632 (*Le opere di Galileo...* cit., XIV, 1904, p. 399).

<sup>8</sup> Si veda la lettera di Geri Bocchineri del 16 settembre 1633, in cui, a proposito del desiderio manifestato da Galileo di recarsi in campagna con l’arcivescovo scrive: “[...] Non si harebbe a denegare la facoltà o dispensa del potere V. S. andare in villa con Mons. Ill.mo Arcivescovo; ma la tempesta non debbe forse esser quietata del tutto contro di V. S., perché il S.r Can.co Cini mi ha conferito questa mattina che un certo pretino, segretario o cancelliere qui dell’Inquisitore, ha detto che giornalmente vengono di Roma qua et costà commissioni di vedere et d’informarsi se V. S. sia mortifica-

ta et se li suoi amici et scolari faccino conventicole. Però V. S., per dar gusto a chi lo desidera, procuri pure di mostrar apparentemente mortificazione” (*Le opere di Galileo... cit.*, XV, 1904, pp. 264-265).

<sup>9</sup> Si veda, ad esempio, Fabio Bisogni: “Si trattava di un palazzo trecentesco [...]. Sappiamo però che gli arcivescovi senesi non ci vivevano [...] e che l’edificio era in cattive condizioni”; “una volta che fu concessa a Siena, con Pio II, l’arcidiocesi e allorché gli arcivescovi iniziarono ad essere nobili senesi, questi ultimi vivevano nei loro palazzi privati. Per il periodo che ci compete, Ascanio Piccolomini, arcivescovo dal 1588 al 1597, abitava nel palazzo detto delle Papesse in via di Città, come si può vedere dalla scritta e la data 1588 intorno allo stemma della facciata. Quando poi, e forse in conseguenza dei decreti del Concilio di Trento che prescrivevano la residenza stabile per i vescovi, si decise di adibire ad arcivescovado l’antica casa de Rettore dell’Opera sulla sinistra della cattedrale, si resero necessari grandi lavori. E ciò ancora di più via via che la dignità arcivescovile si configurava come dignità nobiliare ed era a volte anche unita al cardinalato” (Fabio Bisogni, *La nobiltà allo specchio*, in *I Libri dei Leoni. La nobiltà di Siena in età medicea (1557-1737)*, a cura di Mario Ascheri, Monte dei Paschi, Siena 1996, pp. 203-283, pp. 258, 264).

<sup>10</sup> In seguito, Galileo ricorderà le “continue visite della nobiltà di quella città” (Lettera a Elia Diodati del 7 marzo 1634, in *Le opere di Galileo... cit.*, XVI, 1905, p. 59).

<sup>11</sup> “Ne i 5 mesi che stetti in Siena in casa Mons. Arcivescovo di quella città, hebbi cotidiana conversazione col S. Alessandri Marsilii, lettor di filosofia in quello Studio. Havemmo tempo di discorrer insieme molte centinaia di hore: lo trovai nella scolastica dottrina non inferiore a qualsiasi de i più celebri dell’età nostra, ma ben superiore nella trattabilità, et inferiore a tutti nella petulanza e ostinazione” (Lettera a Fulgenzio Micanzio del 18 ottobre 1636 in, *Le opere di Galileo... cit.*, XVI, 1905, p. 506).

<sup>12</sup> Lettera del 20 dicembre 1633 (*Le opere di Galileo... cit.*, XV, 1904, p. 363).

<sup>13</sup> Lettera di Galileo a Elia Diodati del 7 marzo 1634, in *Le opere di Galileo... cit.*, XVI, 1905, p. 59.

<sup>14</sup> Teofilo Gallaccini, medico, lettore di logica e matematica, intenditore di antiquaria e di architettura, è noto in particolare per il suo trattato *Degli errori degli architetti*, pubblicato nel secolo successivo.

<sup>15</sup> Teofilo Gallaccini, *Monade Celeste, o vero Trattato di Cosmografia*, Siena, Biblioteca Comunale degli Intronati, ms L.VI.31.

<sup>16</sup> Si veda Annalisa Pezzo, *Una rete erudita. La figura di Gallaccini tra rapporti e fortuna*, in *Siena 1600 circa: dimenticare Firenze. Teofilo Gallaccini e l’eclisse presunta di una cultura architettonica*, catalogo della mostra (Siena, Santa Maria della Scala, 10 dicembre 1999-27 febbraio 2000), a cura di Gabriele Morolli, Protagon, Siena 1999, pp. 57-76, pp. 67-69. La notizia è citata per la prima volta in Giovanni Targioni Tozzetti, *Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche accaduti in Toscana nel corso di anni LX del secolo XVII*, vol. I, Firenze 1780, pp. 317-321. Più di recente è stata ripresa anche in Alina A. Payne, *Architectural Criticism, Science, and Visual Eloquence. Teofilo Gallaccini in Seventeenth-Century Siena*, in “Journal of the Society of Architectural Historians”, 58, 2, giugno 1999, pp. 146-169, p. 166 nota 67, dove però il trattato di Gallaccini viene citato

come “*Il mondo celeste*”. In merito all’episodio poi Annalisa Simi asserisce con convinzione, riferendosi a Gallaccini e a Galileo, che “[...] i due conosciutisi in occasione di un’osservazione lunare” si sono “frequentati assiduamente instaurando uno stimolante rapporto basato sulla stima reciproca ed una molteplicità di interessi comuni” e che “dall’incontro scaturì l’opera astronomica [...] *Monade Celeste*”; in assenza di ulteriori riscontri, ciò non può però considerarsi affatto scontato, anzi, dal momento che il nome dell’erudito senese non compare mai nel carteggio di Galileo è prudente supporre proprio il contrario (Annalisa Simi, *Teofilo Gallaccini. matematico e teorico dell’architettura nella Siena di fine ’500*, Max-Plank-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 207, 2002, p. 5; lo scritto è consultabile sul sito [www.mpiwg-berlin.mpg.de](http://www.mpiwg-berlin.mpg.de); poi pubblicato in *Il sogno di Galois. Scritti di storia della matematica dedicati a Laura Toti Rigatelli per il suo 60° compleanno*, a cura di Raffaella Franci, Paolo Pagli, Annalisa Simi, Centro studi della matematica medioevale Università di Siena, Siena 2003, pp. 91-121 e, con qualche modifica, in Teofilo Gallaccini, *Perigonia o vero degli angoli (ms L.IV.5 della Biblioteca degli Intronati di Siena, cc. 1r-86r)*, a cura di Annalisa Simi, Accademia delle Scienze di Siena detta de’ Fisiocritici, Siena 2003, pp. 3-25).

<sup>17</sup> T. Gallaccini, *Monade Celeste... cit.*, c. 97r. Il testo è accompagnato da sei disegni che riproducono “le figure della luna vedute con l’occhiale del Galileo” (c. 97r-v).

<sup>18</sup> *Le opere di Galileo... cit.*, XVIII, 1906, p. 406.

<sup>19</sup> *Galileo e l’inquisizione. Documenti del processo galileiano esistenti nell’Archivio del S. Uffizio e nell’Archivio Segreto Vaticano per la prima volta integralmente pubblicati da Antonio Favaro Direttore dell’Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei*, Tipografia di G. Barbera, Firenze 1907, p. 115.

<sup>20</sup> Archivio Storico dell’Università degli Studi di Siena, *Ruoli de’ Lettori dello Studio Pubblico di Siena*, 1633. Il possibile collegamento fra la mancanza di studenti di Gallaccini e il suo incontro con Galileo è stato avanzato per la prima volta, con qualche cautela, in A. Pezzo, *Una rete erudita... cit.*, p. 69 e poi riproposto da Annalisa Simi (*Teofilo Gallaccini... cit.*) che tralascia di menzionare la precedente letteratura.

<sup>21</sup> “Il Galileo ha seminato in questa città opinioni poco cattoliche, fumentato da questo *Arcivescovo suo hospite*, quale ha sugerito a molti che costui sia stato ingiustamente agravato da cotesta Sacra Congragatione, e che non poteva né doveva reprobare le opinioni filosofiche, da lui con ragioni invincibili matematiche e vere sostenute, e che è il prim’uomo del mondo, e viverà sempre ne’ suoi scritti, ancor proibiti, e che da tutti moderni e migliori vien sequitato. E perché questi semi da bocca d’un prelado potriano produrre frutti perniciosi, se ne dà conto etc”; la lettera anonima, datata 1 febbraio 1634 è riportata in *Galileo e l’inquisizione... cit.*, p. 133.

<sup>22</sup> Lettera del 28 luglio 1633 (*Le opere di Galileo... cit.*, XV, 1904, p. 198).

<sup>23</sup> Lettera dell’11 ottobre 1636 (*Le opere di Galileo... cit.*, XVI, 1905, p. 502)

<sup>24</sup> Lettera di Ascanio Piccolomini a Galileo del 21 febbraio 1634 (*Le opere di Galileo... cit.*, XVI, 1905, p. 48).

<sup>25</sup> L. Corso, *Relazioni fra Lorenzo Magalotti... cit.*, pp. 343-344.



Rana verde, *Rana esculenta* Linnaeus, 1758  
Foto "Il Graffio", Follonica

# Galileo punta verso il cielo il suo cannocchiale: quattrocento anni dopo

Vincenzo Millucci

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Fisica - Via Roma 56 - 53100 Siena, millucci@unisi.it

*“La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l’Universo), ma non si può intendere se prima non s’impara a intender la lingua e conoscere i caratteri, né quali scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola, senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto”.*

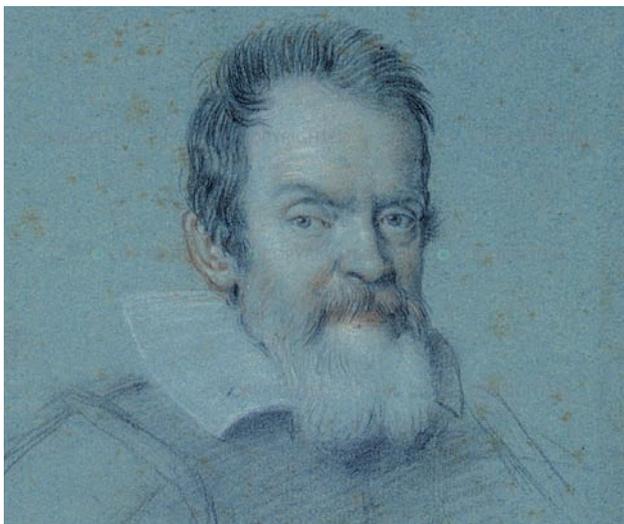
Galileo Galilei

*“Signori, una cosa è credere all’autorità di Aristotele, e un’altra cosa sono i fatti, i fatti che si possono toccar con mano. Voi dite che, stando ad Aristotele, in cielo esistono le volte di cristallo, e perciò certi movimenti non possono darsi, perché le stelle dovrebbero perforare quelle colte. Ma che direste se, quei movimenti, poteste constatarli? Forse arrivereste a concludere che non c’è nessuna volta. Signori, ve ne prego in tutta umiltà: prestate fede ai vostri occhi”.*

Bertolt Brecht

Nell’autunno del 1609 Galileo Galilei (Pisa 1564 – Arcetri, Firenze 1642) (Fig. 1) terminò la costruzione del suo “occhiale a canna” ed effettuò le prime significative esperienze di osservazione del cielo con l’ausilio di uno “strumento” in grado di aumentare il potere risolutivo dell’occhio umano. È questo il motivo che ha spinto la comunità scientifica a proporre ed ottenere che le Nazioni Unite, tramite l’agenzia culturale UNESCO, dichiarassero il 2009 Anno Internazionale dell’Astronomia (IYA-2009).

Appare evidente che, insieme alla Scienza degli Astri, è la figura e l’opera di Galileo che



**Fig. 1** - Galileo Galilei sessantenne, vestito con l’abito dottorale. Disegno eseguito nel 1624 da Ottavio Leoni. Firenze, Biblioteca Marucelliana.

sono proposte per una celebrazione che ne sottolinei la centralità nello sviluppo di tutta la Scienza moderna. E questo non certo per l’“invenzione” del cannocchiale, quanto per l’intuizione che lo guidò ad utilizzarlo per “vedere” ciò che all’uomo era stato impedito dai suoi limiti fisiologici. Per lo scienziato pisano non si trattò di riuscire a scorgere particolari minuti di una trama finissima, ma di credere che il cielo avrebbe mostrato la sua natura più vera, se osservato attraverso quelle lenti che ingrandivano gli oggetti terrestri.

Troviamo qui le radici del Metodo scientifico: osservare e misurare come passi iniziali della conoscenza razionale; e le misure necessitano di strumenti che vanno pensati, costruiti e valutati per le loro caratteristiche. Tutto ciò invita a ricordare la capacità di Galileo di progettare e realizzare apparecchi adatti a compiere misure geometriche ed anche calcoli. La Repubblica di Venezia aveva investito, nel chiamarlo allo Studio di Padova, anche contando su questa arte più volte confermata con particolari compassi e suggerimenti per il famoso Arsenale. E per il cannocchiale, appena dopo l’impiego astronomico, venne l’offerta al Doge per l’aiuto alla navigazione, in specie militare, prontamente accettata e ricompensata.

Absolutamente priva d’importanza appare la discussione sul fatto che Galileo abbia costruito un cannocchiale “per primo”. È certo che dall’Olanda

partirono, in giro per l'Europa, esemplari di lenti raggruppate che permettevano di "leggere" anche lettere piccole lontane; ed ancora, che la maestria veneziana nel trattare i vetri attrasse voci e tentativi di emulazione. Galileo, però, progettò un suo personale schema, lo realizzò anche nella pratica manuale e ne fece il cardine di un'indagine scientifica che costituì un esempio basilare per tutte quelle che seguirono (Fig. 2).

Nei pochi mesi a cavallo tra la fine del 1609 e l'inizio del 1610 il Metodo galileiano venne introdotto ed usato per dare risposte concrete e razionali ad antiche domande dell'umanità, quali quelle relative alla natura ed ai moti dei principali corpi celesti. Galileo, però, andò ben oltre le indispensabili ed accurate misure. Egli fornì lo stimolo per la fantasia scientifica che riflette e propone modelli e condizioni che possono spiegare le osservazioni; in altre parole introdusse le leggi fisiche e le condizioni iniziali o al contorno per i sistemi in esame. Ogni ipotesi è utilizzata per prevedere l'evoluzione futura di un sistema, per cui deve essere sottoposta al controllo sperimentale che potrà confermarla o meno, dandole forza o inducendo a cambiarla.

Galileo ha compiuto questi passi con riguardo a situazioni astronomiche, che ricorderemo con qualche dettaglio, ma il Metodo è universale ed è ancora regola per lo sviluppo delle conoscenze fisiche.

Immaginiamo di trovarci a Padova sul finire del 1609. Il cannocchiale è costituito da un tubo con



*Fig. 2* - Cannocchiali con i quali Galileo lavorò effettivamente. Firenze, Museo della Scienza e della Tecnica.

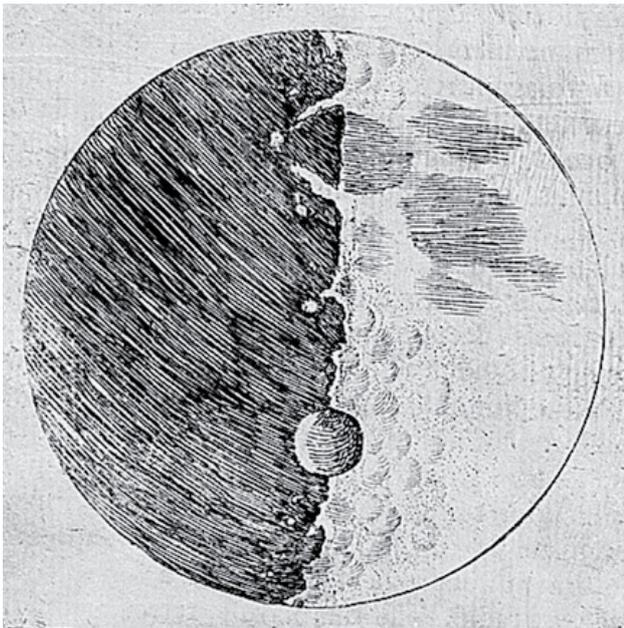
due lenti del diametro di circa cinque centimetri: l'obiettivo e l'oculare. Il primo, che viene rivolto alle stelle ed ha focale positiva (potremmo dire "da presbiti"), raccoglie la luce della sorgente per trasformarla in un fascio convergente che prosegue fino ad incontrare il secondo. Quest'ultimo può scorrere avanti e indietro, spinto manualmente, in modo da permettere all'occhio dell'osservatore (posto come terza lente) di adattare la sua vista al miglior fuoco ed ottenere un'immagine nitida.

Un particolare poco noto è che nel cannocchiale di Galileo la focale dell'oculare è negativa (da "miopi"). Questo fa sì che le immagini della sorgente sono sempre virtuali, per cui non possono essere proiettate su uno schermo esterno. È l'occhio umano, dietro l'oculare, che ricompone il fascio sulla retina formando l'immagine.

I moderni telescopi rifrattori utilizzano oculari a focale positiva il cui impiego risale a Keplero. La differenza sostanziale tra i due schemi è nel campo di visibilità. Osservando, ad esempio, la Luna in fase di piccola falce, all'occhio di Galileo appariva una porzione così piccola di suolo lunare da riempire, comunque, il cerchio di visibilità delimitato dalla cornice dell'oculare; con la lente di Keplero, invece, si poteva osservare tutta la falce lunare ingrandita sullo sfondo del cielo scuro. Ancora oggi è possibile notare un certo stupore in coloro che hanno occasione di verificare la differenza sopra ricordata; in questi casi il pensiero va automaticamente alle discussioni che Galileo ebbe intorno al fatto che il suo strumento mostrasse "davvero" la Luna com'era.

Keplero aveva saputo direttamente da Galileo dell'uso del cannocchiale, ma non aveva avuto precise indicazioni sul suo schema. È merito di Keplero aver sviluppato lo studio relativo che lo portò anche a scrivere un trattato importante per l'Ottica geometrica.

Galileo, dunque, osservò per primo la Luna: montagne e pianure si dispiegavano ai suoi occhi stupiti (Fig. 3) e subito emerse il valore di "prova" che lo strumento offriva nella discussione sulla natura dei corpi celesti. La filosofia aristotelica voleva, per questi, una perfezione e una differenza netta con le "sostanze terrestri". Ma la Luna non era davvero così! D'altra parte anche Venere, la luce più brillante della notte, mostrava di essere un disco! E anche Giove e Marte apparivano di forma rotondeggiante. E tutti questi corpi celesti, insieme a Mercurio e a Saturno, erano le uniche "stelle erranti", cioè non condannate a formare costella-



**Fig. 3** - Disegno di Galileo della superficie lunare, così come egli la vide per la prima volta con il suo cannocchiale.

zioni immutabili nel tempo. Esse si spostavano descrivendo cammini osservati da secoli. Potevano avere una natura “terrestre” come la Luna? Forse non erano stelle, ma compagne della Terra o, magari, del Sole! La moltitudine delle stelle, comunque, anche al cannocchiale rimaneva una miriade di punti luminosi (Fig. 4).

Relativamente a Venere, la sua distanza dalla Terra la rendeva all’occhio di Galileo piccola ma intera; succedeva, inoltre, che il suo disco non sempre era tutto illuminato, ma mostrava fasi come la Luna!

“*Cynthiae figuras aemulatur mater amorum*”, la madre degli amori (cioè Venere) emula le forme di Cinzia (cioè la Luna): così, semplicemente e solamente, scrisse Galileo a Keplero che si trovava a Praga. “*Viciste Galilee!*”, rispose Keplero. Poche parole per celebrare un trionfo.



**Fig. 4** - Galileo fu colpito dalla velocità con cui le stelline vicine a Giove mutavano la loro posizione, contrariamente alla moltitudine delle altre che il cannocchiale gli mostrava: ad esempio quelle costituenti l’ammasso delle Pleiadi, nella costellazione del Toro. A sinistra, come lo disegnò Galileo; a destra come appaiono attualmente.

Già da tempo Keplero aveva proposto la sua celebre prima legge: i pianeti descrivono delle ellissi intorno al Sole, che ne occupa uno dei fuochi. L’ipotesi eliocentrica copernicana aveva avuto il conforto di una dimostrazione matematica basata sulla ricerca della curva che meglio si adattava a passare per quei punti che Tycho Brahe, maestro di Keplero e preciso osservatore, aveva rilevato in particolare per le posizioni di Marte. Mancava comunque una prova diretta, accessibile ad una verifica sperimentale, che escludesse la possibilità per i pianeti di ruotare attorno alla Terra, cardine delle vecchie teorie.

Le fasi di Venere, mai viste prima da occhio umano, fecero subito intuire a Galileo e a Keplero il loro enorme potenziale scientifico (Fig. 5). Assumendo che, come per la Luna, la luce del Sole fosse responsabile del loro manifestarsi, era possibile prevedere il loro andamento – dalla falce sottile fino ad un disco quasi pieno – sia nel modello geocentrico, che voleva il pianeta ruotare attorno alla Terra, che in quello eliocentrico, che lo voleva ruotante attorno al Sole. La differenza sarebbe stata indicata dalla successione delle fasi che osservabili a partire da una sera iniziale in cui Venere si trovava in una determinata posizione. Se il pianeta si muoveva attorno alla Terra, i raggi del Sole avrebbero dovuto illuminare il suo disco in modo da farlo risultare all’occhio degli uomini, nei giorni successivi, in fase crescente; se invece il suo moto avveniva attorno al Sole, si sarebbe dovuto attendere il contrario. Osservando le fasi di Venere per qualche sera di seguito divenne dunque possibile verificare in modo diretto quale dei due andamenti si manifestava e, in accordo a quanto già detto sul Metodo Scientifico, accertare la veridicità del modello copernicano.

Il cannocchiale aveva dunque contribuito a

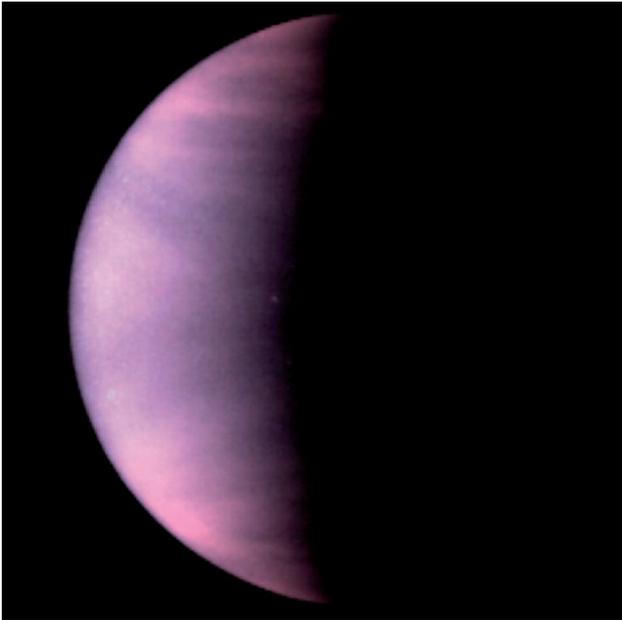


Fig. 5 - Immagine moderna di una fase di Venere.

dirimere anche la fondamentale disputa sui moti degli astri erranti, oltre che sulla loro natura.

Ormai la via era aperta e le notti sembravano non bastare più alle continue osservazioni che occhi instancabili conducevano, sull'onda delle mille domande rincorrenti immagini sempre nuove.

Ecco Giove, maestoso e rotondo. Il suo disco si muoveva lentamente sullo sfondo della costellazione che, in un dato periodo, lo ospitava. Si trattava, ancora, di una conseguenza del fatto che il pianeta si muoveva attorno al Sole e che noi l'osservavamo dalla Terra, anch'essa in moto eliocentrico. La certezza di questa descrizione diede a Galileo la forza di anticipare con fiducia la posizione di Giove anche per brevi periodi, di uno o due giorni. Lo scienziato era infatti in grado di prevedere accanto a quale stella fissa lo avrebbe ritrovato, magari quando il cielo fosse tornato sereno dopo qualche sera di pioggia. E gli appuntamenti non fallirono: Giove era là dove il cannocchiale lo attendeva e la stella di riferimento sembrava anche meno brillante, così vicina al gigante bianco-azzurro. Ma... c'erano anche altre luci... molto deboli... che non si notavano nelle sere precedenti... Strano!! Per capirne di più sarebbe stato necessario seguire il pianeta con regolarità. Ma i doveri accademici, gli impegni per l'Arsenale e le lezioni private agli studenti non diedero molto tempo a Galileo. Si avvicinava comunque la pausa natalizia e di fine d'anno del 1609... e arrivò il 1° Gennaio del 1610. Il cielo era freddo ma bellissimo. Giove era presente ed ancora mostrava di avere alcune stelline di accompagnamento nel suo avvicinarsi a quelle più grandi.

Galileo sapeva ormai che erano quattro, ma non sempre si vedevano tutte. Quella sera erano due a destra e due a sinistra del disco del pianeta. Il 2 Gennaio le stelline erano tre, una a destra e due a sinistra. Un'idea cominciava a farsi strada, un modello geometrico-cinematico: e se fossero corpi che ruotavano attorno a Giove? Questo avrebbe spiegato il loro spostarsi attorno al disco ed il fatto che, comunque, diversamente dalle stelle fisse delle costellazioni, ne seguivano il percorso. Quando una non si vedeva, era perché si trovava dietro al disco stesso (Fig. 6).

Il Metodo ancora si proponeva con la sua forza e l'urgenza delle sue previsioni. Se questa era l'ipotesi, allora non sarebbe stato difficile, sulla base delle osservazioni precedenti, anticipare la posizione delle piccole luci che ci si doveva attendere nelle sere successive. Per qualche sera di cielo coperto il destino riservò a Galileo l'ansia dell'attesa, ma intorno al 10 Gennaio la sua intuizione superò l'esame della verifica. L'osservazione diretta permetteva di affermare che Giove possiede quattro satelliti perennemente obbligati a ruotargli attorno, a diverse distanze: Io, Europa, Ganimede e Callisto – i coppieri degli dei! Un'altra prova sperimentale veniva a confutare la vecchia ipotesi di astri che potevano ruotare unicamente attorno alla Terra.

Il 1609 si era concluso, ma l'alba del 1610 gettò una luce senza pari sull'avvenire della Scienza: c'era uno Strumento, c'era un Metodo, c'era l'Universo sconfinato... e c'erano gli uomini, con Galileo in primissimo piano. Lo scienziato era consapevole del momento epocale che aveva vissuto e della necessità di assicurarsi una condizione di vita che gli permettesse di procedere nel cammino intrapreso.

A fine Gennaio 1610 egli scrisse a Firenze al Granduca Cosimo II dei Medici, dedicando alla sua illustre famiglia la scoperta dei satelliti di Giove (da lui denominati appunto Medicei), rivolgendogli pressante richiesta di chiamarlo a Firenze come Matematico di corte ed offrendosi come Maestro di Scienze ma senza obblighi formali che lo distraessero dalle sue ricerche. Il Doge veneziano avrebbe potuto opporsi (l'incarico di Professore a Padova era "a vita"), ma si mostrò realmente "serenissimo" e magnanimo. Così, a fine anno, Galileo poté dare inizio al suo lavoro sulle sponde dell'Arno, dove avrebbe creato la prima comunità scientifica moderna.

Era comunque necessario che anche il mondo universitario e accademico venisse informato della

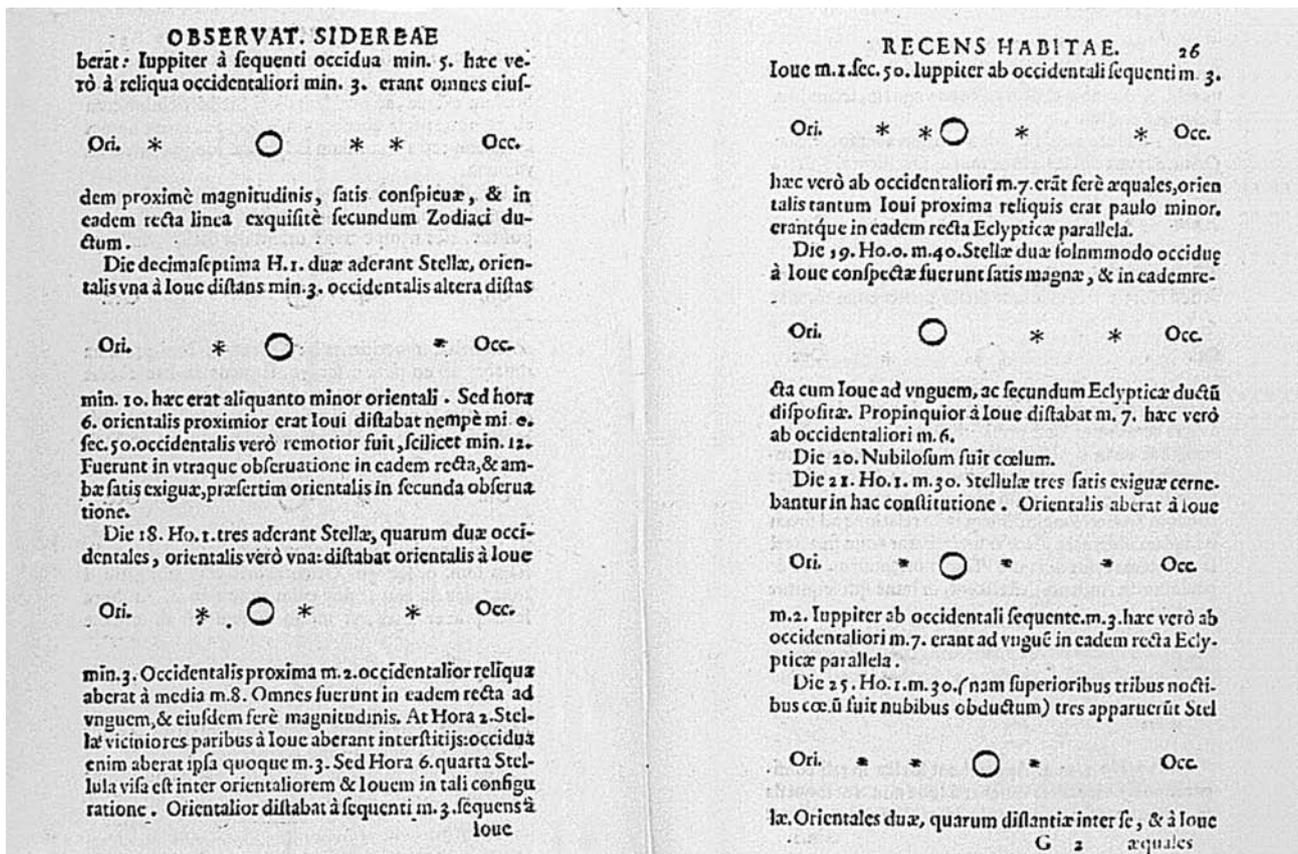


Fig. 6 - Moti intorno a Giove dei "satelliti medicei" Io, Europa, Ganimede e Callisto, così come furono osservati da Galileo.

rivoluzione intrapresa. In poche settimane Galileo compose, in latino, il *Sidereus Nuncius*, che già ai primi di Marzo 1610 usciva dalla stampa ed iniziava a percorrere le vie del Mondo (Fig. 7). Si dice, e va sottolineato, che quest'opera rappresenti l'antesignari di quegli eventi culturali che oggi defi-

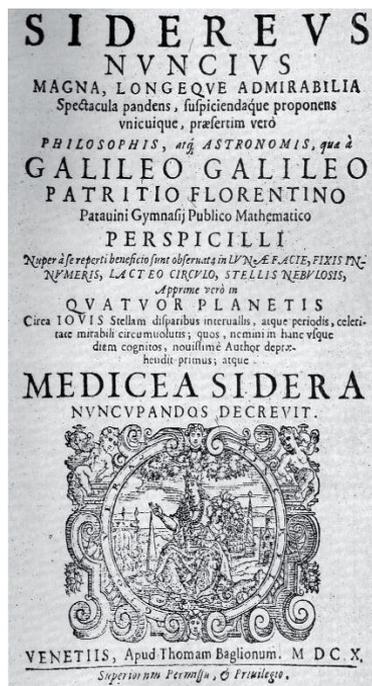


Fig. 7 - Frontespizio del *Sidereus Nuncius*.

ri alla sua stessa sopravvivenza. Ma il seme gettato troverà fertili terreni e non solo in campo strettamente scientifico. La letteratura stessa del '600 risentirà profondamente delle pagine del *Sidereus*. La fantasia non avrà più limiti ad immaginare viaggi e situazioni rese possibili dalle rivelazioni galileiane. Si può dire che la stessa fantascienza moderna affondi le sue radici in quelle pagine, ricche non solo di descrizioni tecniche ma anche di suggestioni poetiche.

E oggi, che cosa ci presenta l'alba del 2009?

Intanto, il fatto che i moderni ricercatori scientifici continuano ad insegnare e ad usare il Metodo di Galileo nei più diversi campi in cui lavorano, mentre le meraviglie della Tecnica si affiancano e contribuiscono in maniera determinante al progresso delle loro conoscenze della Natura.

Ma questo è anche l'anno dell'Astronomia, per cui merita una riflessione particolare in tale senso. Se Galileo si è trovato a lavorare sui corpi celesti, è perché fin dai tempi più remoti gli uomini hanno guardato agli astri con ansia indagatrice. L'Astronomia, insomma, ha sempre accompagnato la crescita culturale dell'Umanità con il suo carico di sfide, di paure e di costante, immanente attrazione. È registrabile qualcosa di simile anche all'inizio del terzo millennio?

È possibile proporre alcune riflessioni.

Lo studio degli astri impegna i progetti di ricerca più costosi, spesso collegati a scopi militari... e anche questo non sembrerebbe una novità: ricordiamoci dell'Arsenale di Venezia al tempo di Galileo. Rimane appurato, quindi, un notevole interesse "ufficiale".

Le conoscenze "pure" – si pensi alla composizione di stelle, pianeti, comete e all'evoluzione dell'Universo – rimangono oggetto di un gran numero di studi che, nella percezione del pubblico, cedono il passo a novità tecnologiche legate soprattutto alla possibilità di viaggi nello spazio ed alle telecomunicazioni entro o addirittura al di fuori del sistema solare.

Dobbiamo accettare che il binomio Scienza-Tecnica continui a proporre discussioni e scelte difficili. In campo biologico si sono aperti problemi di natura etica per noi del tutto nuovi. Sono Questi problemi hanno una qualche relazione con l'Astronomia? Io penserei di sì, in quanto il *Sidereus Nuncius* ha fatto nascere in forma definita il desiderio di "andare" in quei luoghi che in definitiva mostravano ambienti non del tutto alieni; però il nostro "corpo" attuale è troppo limitato per le dimensioni spazio-temporali dei viaggi auspicati. Potremo modificarci? Lo vorremo? Sarà un frutto dell'evoluzione? E questa sarà casuale? Le domande sembrano crescere di numero e di spessore in relazione alle nuove possibilità, così come accadeva a Galileo, nelle sere di fine 1609!!

Ma un'altra riflessione appare necessaria. Con il *Sidereus Nuncius*, che ebbe grande risonanza, Galileo avviò una trasformazione della sua Società. Come sono recepite dalla nostra Società le meraviglie e le promesse dell'Astronomia attuale?

La risposta non può essere improntata da banale trionfalismo, anzi: si dovrebbe parlare apertamente di un interesse non più che superficiale e tale da mettere in discussione le stesse spese necessarie alle ricerche.

Questo fatto emerge in modo chiaro anche dal comportamento dei giovani nel corso della loro educazione scolastica. In generale, alla naturale e spontanea curiosità dei più piccoli non fa seguito, nei più grandi, la disponibilità all'impegno per studi o attività che richiedono varie forme di sacrificio come quelli inerenti al campo astronomico. Ne segue una caduta delle conoscenze, anche elementari, relative ai fenomeni celesti più importanti, tipo quelli legati ai moti della Terra e dei pianeti.

Fortunatamente, però, ci sono anche esempi

positivi di sinergie tra Scuole, Università, Enti Locali ed Associazioni culturali, finalizzate alla realizzazione di osservatori ed alla gestione di programmi educativi rivolti a cittadini di tutte le età.

Ecco quindi uno degli obiettivi che il ricordo del lavoro di Galileo ci deve spingere a realizzare: offrire a giovani e ad anziani l'occasione di mettere in pratica il Metodo Scientifico attraverso l'osservazione diretta del cielo e dei suoi astri.

È questo il laboratorio sempre aperto (a parte qualche nuvola...) e meno costoso che ci sia. Chiunque può mettersi al lavoro quando vuole e dove vuole. Le conoscenze di base che vogliamo diffondere non richiedono grandi strumenti.

La diffusione degli strumenti informatici rende possibile al singolo osservatore ciò che solo venti anni fa era riservato ai professionisti. Le Scuole, d'altra parte, possono svolgere un ruolo decisivo nel far conoscere queste potenzialità.

Nel 1610 Galileo si ritirò a Firenze per studiare (Fig. 8), ma ci ha lasciato il frutto delle sue ricerche. Il compito di chi ha creduto nell'utilità dell'Anno Internazionale dell'Astronomia è quello di aprirsi e di far conoscere soprattutto ai giovani questi frutti. Ed è appunto per questo che anche l'Accademia dei Fisiocritici in Siena ha ritenuto necessario potenziare il proprio patrimonio di strumenti e promuovere adeguate manifestazioni.

Il nostro impegno sia di continuare ad offrire liberamente compagnia e supporto scientifico-culturale a tutti coloro che sentono il fascino di confrontarsi con l'emozione d'intravedere nel cielo, così come è accaduto nel passato, le strade del nostro futuro.

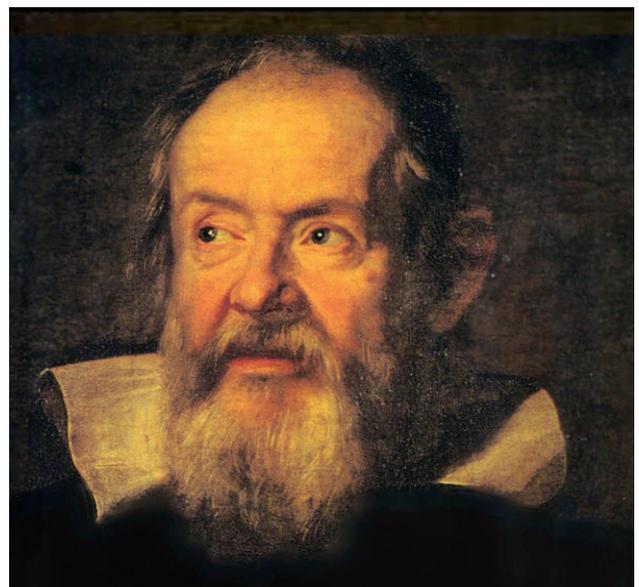


Fig. 8 - Ritratto di Galileo in olio su tela eseguito nel 1636 da Joost Sustermans. Firenze, Galleria degli Uffizi.

# Il lato nascosto di Darwin

Roberto Fondi

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena, fondi@unisi.it

*Oltre che il quadricentenario delle prime osservazioni astronomiche di Galileo, il 2009 segna il bicentenario della nascita di Darwin. Riteniamo giusto, dunque, contribuire anche a questo evento, ma senza sentirsi obbligati a ripetere cose già dette e ridette con finalità meramente celebrative. Le ricorrenze legate alla vita e alle opere dei personaggi che, nel bene e nel male, hanno segnato la storia della nostra civiltà, devono soprattutto servire a farci meglio riflettere sul cammino percorso e sulle esperienze da esso forniteci, perché soltanto facendo tesoro di tali esperienze saremo in grado di affrontare il futuro nel modo più idoneo. L'articolo potrà dunque rappresentare un contro-altare ai vari Darwin's Days organizzati negli ultimi anni, i quali spesso si risolvono in semplici pretesti per continuare ad incensare di fronte agli studenti ed al vasto pubblico una figura della storia della scienza la quale, a nostro modo di vedere, richiede soltanto di essere adeguatamente ridimensionata.*

## Una vita tormentata da ambizione, timori e nevrosi

Alle 3 e mezzo pomeridiane del 19 aprile 1882, compiuti da poco i 73 anni, Charles Robert Darwin si spense nella sua casa di campagna di Downe, nel Kent, amorevolmente assistito dalla moglie Emma e dai figli Francis ed Henrietta. Appena due settimane più tardi, dietro richiesta unanime di 20 membri del Parlamento inglese, egli ricevette uno dei massimi onori che l'Inghilterra ha sempre assegnato ai suoi figli più illustri: il trasferimento delle loro spoglie mortali nell'Abbazia di Westminster. In questo caso, esse furono collocate addirittura in prossimità della tomba di Sir Isaac Newton.

Così commentava a tale proposito nel 1955, nel suo *Darwin revalued*, il famoso antropologo Sir Arthur Keith: “Un tale onore reso alle sue spoglie era un giusto riconoscimento alla tolleranza che egli aveva praticato e insegnato. Tanto onore gli era anche dovuto perché per tutta la vita aveva così apertamente e sinceramente cercato la verità.” (1959, p. 239).

Ma Darwin fu veramente come lo presentava Keith e come anche il vasto pubblico lo ha sempre immaginato? Darwin fu davvero come egli stesso si descrisse nella postuma *Autobiografia*, e cioè uno studioso che era giunto alla formulazione della sua teoria dell'evoluzione attenendosi ai “veri principii baconiani”, vale a dire raccogliendo fatti ed informazioni su ampia scala

senza alcun preconcetto e traendo da essi – dopo avere a lungo meditato e, magari, anche in seguito ad alcune intuizioni illuminanti – inevitabili conclusioni? Darwin fu veramente, insomma, un puro ed obiettivo ricercatore della verità, come ci si aspetterebbe per qualsiasi autentico uomo di scienza?

A distanza di più di un secolo dalla morte del naturalista britannico, e in un'epoca ormai matura per rimettere in seria discussione la validità dello stesso paradigma evolucionistico<sup>1</sup>, è tutt'altro che inappropriato porre sotto processo anche la figura di colui che ne è universalmente considerato il principale edificatore, cercando di rispondere nel modo più inequivocabile alle domande prima formulate. E ciò è appunto quanto è stato fatto dalla ricca letteratura storico-critica su Darwin e il darwinismo che è fiorita nel mondo anglosassone a partire, più o meno, dall'anno in cui ricorreva il primo centenario della pubblicazione di *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, il 1959. Il ritratto fornito da tale letteratura – della quale praticamente nulla è stato tradotto in italiano – è molto diverso ed assai più umano ed appassionante di quello consueto di eroe della scienza ascetico e quasi fuori del tempo, di patriarca bonario ed attento al rigore scientifico, tollerante e sempre pronto a smussare angoli e a dare buoni consigli. Il ritratto è quello di una persona tormentata da ambizione, dubbi, timori e nevrosi.

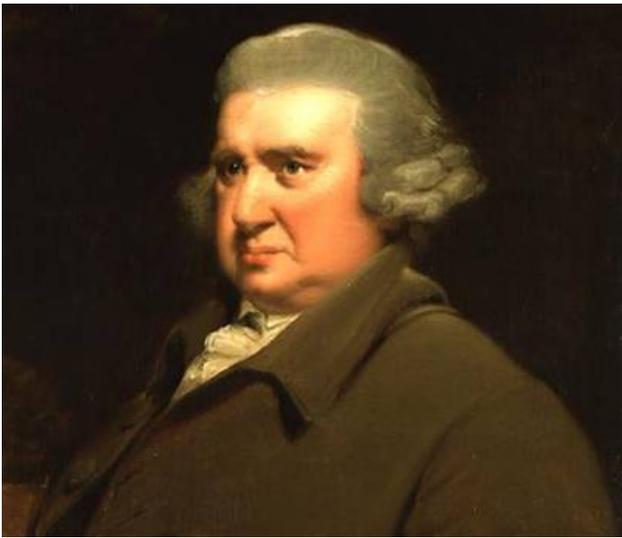


Fig. 1 - Il dottor Erasmus Darwin.

## Il nonno Erasmus

Il percorso culturale e l'educazione universitaria di Charles Darwin non ebbero come fondamento una *tabula rasa*, ma, al contrario, si svilupparono su un substrato ideologico che rifletteva fedelmente la visione del mondo tipica della sua famiglia.

Ciò riconduce automaticamente alla figura del nonno paterno. Nato nel 1731 ad Elston, nel Nottinghamshire, Erasmus Darwin (Fig. 1) fu un medico assai rinomato e stimato. Di aspetto pantagruelico (era talmente obeso che il lato della tavola da pranzo al quale stava seduto dovette essere scavato a semicerchio), il nonno di Charles fu sorprendentemente attivo non soltanto nella sua professione, ma anche nell'affrontare controversie difendendo le virtù del deismo e l'immoralità della schiavitù, nell'inventare congegni meccanici più o meno bizzarri e nel coltivare amicizie con persone illuminate ed anticipatrici della "rivoluzione industriale" quali Jean-Jacques Rousseau e Benjamin Franklin. A questo proposito, anzi, egli fondò il più importante club culturale di provincia che l'Inghilterra abbia mai avuto – la "Società Lunare" – cooptandovi membri della Società Reale di Londra quali Mathew Boulton, Samuel Galton, l'ingegner James Watt, il chimico Joseph Priestley, il medico James Keir e il ceramista Josiah Wedgwood, con la cui famiglia i Darwin si imparenteranno. Erasmus Darwin, inoltre, pubblicò coraggiosi ed originalissimi trattati scientifici in versi – *L'orto botanico* (consistente in due parti: *L'economia della vegetazione* e *Gli amori delle piante*), *Zoonomia o le leggi della vita organica* e, uscito postumo, *Il tempio della*

*natura* – i quali, nonostante fossero stati messi all'indice dalla Chiesa Cattolica, ebbero frequenti ristampe ed ampia diffusione in tutta Europa (*Zoonomia* fu tradotto in francese, tedesco, russo e italiano) procurandogli fama e buoni guadagni.

Nelle sue opere, basandosi sulle osservazioni di Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) (Fig. 2) e sulle riflessioni scettiche di David Hume, Erasmus manifestò la fede che tutti i viventi discendessero da un antenato comune molto semplice tramite un processo durato "milioni di età". Nel corso di questo lunghissimo processo, gli esseri viventi si erano modificati e differenziati proprio com'era accaduto, in un arco di tempo molto più limitato, per le specie vegetali ed animali coltivate ed addomesticate dall'uomo. Tali modificazioni erano innanzi tutto gli effetti dell'uso e del non uso dei vari organi, effetti che venivano trasmessi ai discendenti e sui quali anche l'ambiente produceva alterazioni, esse pure trasmesse alla discendenza; ma anche i processi competitivi e selettivi non potevano non avere avuto un qualche ruolo nel determinarle.

Cercando di individuare i meccanismi che, a suo giudizio, erano responsabili delle trasformazioni biologiche, Erasmus non si abbandonò a pure e semplici speculazioni, ma fece accurato riferimento ai risultati delle ricerche scientifiche del suo tempo: i lavori sperimentali di Sprengel sull'impollinazione incrociata dei fiori, quelli di Knight che già suggerivano il principio mendeliano della segregazione, quelli di Cooper sulla selezione di ceppi vegetali e quelli di Spallanzani e di Bakewell sull'inseminazione artifi-



Fig. 2 - Jean-Louis Leclerc, Conte di Buffon.

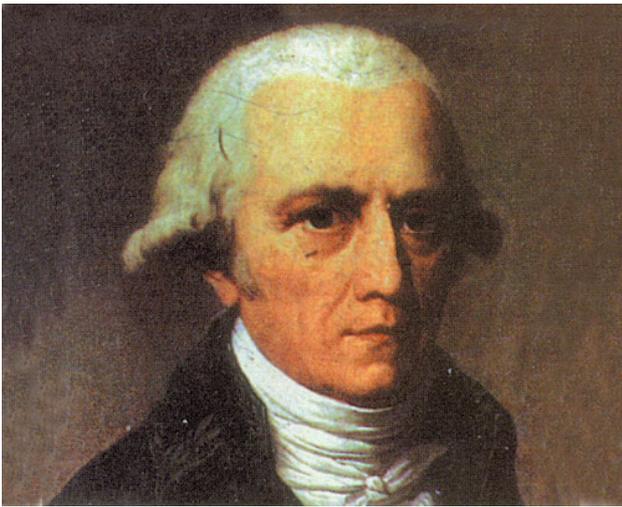


Fig. 3 - Jean-Baptiste Monet, Cavaliere di Lamarck.

ziale e selezione degli animali. Anticipando l'eugenica di Francis Galton e la selezione sessuale del nipote, Erasmus considerò la fertilità come ereditaria e soggetta a selezione: se troppo limitata, avrebbe potuto condurre all'estinzione; se troppo estesa, ad un'inevitabile competizione.

Poiché Charles nacque 7 anni dopo la morte del nonno, avvenuta a Derby nel 1802, i due non poterono conoscersi; nonostante ciò, è impossibile sostenere che non pochi ed importanti elementi dell'impostazione culturale di Erasmus non fossero condivisi anche da suo nipote. Questi elementi includevano: la conoscenza considerata non come qualcosa che debba essere appreso da libri, bensì che viene soprattutto costruito tramite l'attività e l'esperienza; l'amore entusiastico per la natura; la fede in un ordine naturale suscettibile di essere esteso anche a quello sociale; l'interesse per ogni corrispondenza fra adattamenti biologici ed invenzioni meccaniche; l'etica utilitaristica; la predilezione per ciò che è dinamico e mutevole; il rilievo attribuito alla sessualità; la convinzione che tutte le creature godano e soffrano come noi; l'opposizione ad ogni forma di schiavitù.

Malgrado sia stato messo in ombra dalla fama del nipote, Erasmus Darwin rimane un personaggio fondamentale nella storia della biologia. Già negli ultimi decenni dell'800, Samuel Butler lo considerò il vero padre fondatore del pensiero evolutivista, ritenendo che fossero stati appunto *Gli amori delle piante*, tradotti in francese nel 1800, a convertire definitivamente Jean-Baptiste Monet de Lamarck (1744-1829) (Fig. 3) alla fede nella trasformazione delle specie.

## La giovinezza e gli studi

Nel 1809, quando Charles nacque a Shrewsbury nello Shropshire, le famiglie dei suoi genitori si collocavano dalla parte dei *whigs* o "progressisti" nell'ambito della società inglese, opponendosi pertanto alla parte conservatrice, tradizionale e filo-aristocratica dei *tories*. Esse occupavano, insomma, il settore liberale-radical dello spettro politico britannico, tipico della borghesia medio-alta.

Il padre di Charles, il dottor Robert, era un medico con un bagaglio culturale sicuramente assai inferiore a quello di Erasmus, ma dal temperamento assai pratico e dotato di solido senso degli affari. Di corporatura molto robusta e di carattere irascibile e dominatore, era il vero centro patriarcale della famiglia. D'altra parte la madre, Susannah Wedgwood, una donna dal carattere dolce ed affettuoso, morì quando Darwin aveva appena 8 anni. Sensibile per natura, il giovane Charles dovette perciò vedere ogni suo movimento limitato sia dalla severa presenza del padre, sia da quella delle sorelle maggiori assumenti il ruolo della madre. Leggendone la recente biografia scritta da Adrian Desmond e James Moore, si riceve dunque l'impressione che Darwin abbia avvertito molto presto il desiderio di non sentirsi più obbligato da chicchessia a fare qualunque cosa, in modo da potersi abbandonare a tutto ciò che il proprio animo spontaneamente gli dettava. In effetti, l'intera sua vita intellettuale risulterà contrassegnata dallo scarso bagaglio di studi e di conoscenze acquisiti professionalmente e dal carattere tipicamente *dilettantistico* dei suoi interessi: nel senso che questi verranno da lui coltivati appunto ed unicamente per proprio diletto.

Constatata l'inefficienza di Charles ai rigorosi studi classici che gli erano stati imposti, il padre lo mandò in un primo tempo all'Università di Edinburgo con l'idea di farne un medico. E laggiù la sua crescente attrazione per il mondo della natura gli assicurò le confidenze soprattutto di uno dei suoi docenti, lo zoologo Robert Edmond Grant (1793-1874) (Fig. 4), autore di un articolo anonimo comparso nel 1826 su una rivista scientifica ben nota anche a Darwin, nel quale erano sostenute le opinioni di Lamarck.

Per la sua svogliatezza ed incapacità di dedicarsi seriamente all'apprendimento, Darwin fu richiamato dal padre ed esortato a scegliersi egli stesso la propria strada. Così, a 19 anni, decise di



Fig. 4 - Lo zoologo Robert Edmond Grant.

diventare parroco anglicano e si iscrisse alla Facoltà di Teologia dell'Università di Cambridge presso il Christ's College. Ma fu nuovamente un fallimento. Anche a Cambridge Darwin non fece altro che impiegare il suo tempo in futili occupazioni, non evitando compagnie scapestrate e finendo persino per contrarre debiti, che poi furono pagati dal padre. L'istruzione convenzionale del tempo gli pesava molto. Ciò che invece amava era la natura, da lui goduta nel corso di lunghe passeggiate solitarie o di escursioni con colleghi e professori dedicate all'osservazione di strutture geologiche ed alla raccolta di minerali, rocce, piante, insetti ed altri piccoli animali, oltre che alla caccia di uccelli da impagliare. Come stu-



Fig. 5 - Il botanico Rev. John Steven Henslow.

dente, anzi, Darwin giunse perfino ad organizzare vere e proprie spedizioni per raccolte naturalistiche, premurandosi di insegnare agli altri tutto ciò che sapeva. Questa attività di studente universitario poco studioso ma appassionato alla natura fu particolarmente apprezzata ed incoraggiata dai alcuni dei suoi professori, che, colpiti favorevolmente dal non comune spirito di osservazione e dal carattere socievole del loro alunno, finirono con l'affezionarglisi. Darwin, così, si conquistò la simpatia e l'affetto soprattutto dei reverendi John Steven Henslow, botanico (Fig. 5), e Adam Sedgwick, geologo (Fig. 6): due docenti che stavano appunto combattendo in prima linea per cambiare il carattere sociale dell'Università con l'assegnarvi il dovuto posto alle discipline scientifico-naturaliste, col propugnarne la liberazione dal dominio ecclesiastico e con l'aprirne le porte agli studenti sulla base non del credo religioso o della classe sociale, ma unicamente dei loro meriti. E fu soprattutto Henslow che, interessato com'era a tenere continue relazioni informali con tutti quanti, a Cambridge e dintorni, coltivassero le scienze naturali (ogni settimana riceveva in casa propria sia professori esperti che giovani studenti), si assunse il compito di proteggere ed incoraggiare Charles, che pertanto lo incontrò nel momento giusto. Henslow e Sedgwick, in ogni caso, rafforzarono notevolmente nel nipote di Erasmus la convinzione che la *Natural Theology* o spiegazione religiosa della natura, in quel tempo ben rappresentata dall'opera del reverendo William Paley (1743-1805), costituisse una visione del mondo di gran lunga più razionale e scientifica di quella proposta dai seguaci del trasformismo.



Fig. 6 - Il geologo Rev. Adam Sedgwick.

## Evoluzionisti “morbidi” e “duri” della prima metà dell’Ottocento

In Francia, Lamarck aveva preso in considerazione alcuni dei possibili meccanismi di cambiamento evolutivo ipotizzati da Erasmus Darwin e li aveva proposti come sufficienti. Malgrado le sue idee non esprimessero assolutamente nulla di nuovo <sup>2</sup>, egli però fu la prima persona a proclamarle, confezionandole in un quadro eclettico mirante specificamente ed esplicitamente a spiegare la trasformazione dei viventi. Lamarck dava per scontato che la variazione fosse inerente ad ogni processo riproduttivo ed intrinsecamente diretta ad adattare la progenie al suo ambiente meglio di quanto non fossero adattati allo stesso ambiente i progenitori. La direzione della trasformazione era data, com’era stato suggerito da Erasmus Darwin, dalla risposta dell’organismo. Essa seguiva l’ereditarietà dei caratteri acquisiti attraverso gli effetti dell’uso e del disuso degli organi. Nella visione di Lamarck, dunque, l’eredità era “morbida” e la variazione doveva seguire una direzione, impostale dall’ambiente dei genitori, *prima* ancora che essa sorgesse. Nella visione basata sulla selezione naturale, invece, l’eredità era “dura” e la variazione poteva seguire una direzione, eventualmente, soltanto *dopo* che essa era sorta in quanto impostale dall’ambiente dei figli.

Per Lamarck il processo “morbido” di trasformazione seguiva le leggi necessitanti della natura ed era perciò intrinsecamente benefico. Ciò in quanto era nella necessità stessa delle leggi naturali che la vita dovesse generarsi spontaneamente, complessificarsi, diversificarsi e migliorare. Nella visione selettiva, invece, il processo “duro” di trasformazione sorgeva quale effetto di innumerevoli processi fortuiti i cui risultati non necessariamente dovevano essere benefici.

L’assunto di Lamarck, dunque, lasciava spazio non soltanto per l’Essere Supremo in quanto creatore delle leggi naturali (sia pure in una prospettiva deista), ma anche per la stima di se stessi. A tutti piace credere nello scopo e nel progresso di ciò che abbiamo ereditato. Nel corso della nostra vita ci prefissiamo determinati obiettivi e vogliamo che anche la natura abbia determinati obiettivi. Speriamo in cose migliori e crediamo perciò nel miglioramento. Come già si è detto, l’impresa di Lamarck era abbastanza semplice, ma non era quello che aveva supposto di essere. Prima che egli avesse proclamato la fede in tali

assunzioni, esse erano sempre state credute. La “morbidezza” dell’eredità, l’ereditarietà dei caratteri acquisiti ed il processo di direzionalità erano sempre stati dati per scontati: tanto che li troviamo già in Ippocrate.

Nella prima metà del XIX secolo, comunque, grandi cambiamenti stavano avendo luogo nell’ambito delle scienze biologiche e stava diventando possibile sottomettere varie affermazioni date per scontate alla prova degli esperimenti. In Germania stava prendendo forma la teoria cellulare, dalla quale sarebbero scaturiti gli argomenti di Gregor Mendel basati sull’idea della fertilizzazione della cellula singola. Da ciò sarebbe scaturita la nozione di Francis Galton per la quale i gemelli si assomigliavano in quanto derivavano dalla medesima cellula-uovo. E da ciò sarebbe scaturito l’argomento di August Weismann contro l’ereditarietà dei caratteri acquisiti. L’eredità “morbida”, insomma, veniva rimessa in discussione e contestata da alcuni medici e naturalisti: James Prichard con le sue *Researches into the Physical History of Mankind*, del 1813; William Wells con il suo *Account of a Female of the White Race of Mankind, part of whose Skin Resembles that of a Negro*, egualmente del 1813; Sir William Lawrence con le sue *Lectures on Physiology, Zoology and the Natural History of Man*, del 1819; Patrick Matthew con il suo *On Naval Timber and Arboriculture*, del 1831; Edward Blyth con gli articoli *An Attempt to Classify the “Varieties” of Animals*, del 1835, e *On the Psychological Distinctions between Man and all other Animals*, del 1837; Robert Chambers con il suo libro *The Vestiges of the Natural History of Creation*, del 1844; e Charles Naudin con l’articolo *Considérations philosophiques sur l’espèce et la variété*, del 1852. Eccettuato Lawrence (Fig. 7), questi autori si erano ben guardati dal menzionare nei loro scritti le opere di Erasmus Darwin e di Lamarck, alle quali evidentemente si erano riferiti, né accettavano l’ereditarietà dei caratteri acquisiti, rivolgendosi invece alle altre cause cui pure si era riferito Erasmus, e cioè la competizione e la selezione; di conseguenza, essi respingevano la nozione di un rigido disegno necessitante nella natura.

Il conflitto fra la direzionalità imposta e la selezione causale, tra la convergenza verso fini e la divergenza da inizi non era mai stato chiaramente delineato sin dai tempi classici (Empedocle, Democrito, Aristotele, Lucrezio), ma ora



Fig. 7 - Il medico chirurgo Sir William Lawrence.

riesplodeva con evidenza. Se in Erasmus Darwin le trasformazioni direzionali e quelle selezionate si bilanciavano, l'equilibrio venne spezzato per un verso da Lamarck e per l'altro verso da quelli che contestavano Lamarck. Mentre gli scrittori di tendenza più radicale nutrivano simpatia per i selezionisti, le persone più conservatrici e rispettose degli insegnamenti della Chiesa preferivano i direzionalisti. Di conseguenza le Università, che erano controllate da ecclesiastici, reagirono alle idee dei primi mettendosi sulle difensive e condannandole: tant'è che Lawrence venne ripudiato dall'esponente più in vista della sua professione e suo proprio maestro, John Abernethy, e dovette sopprimere il suo libro, mai più azzardandosi ad esporre pubblicamente le proprie idee sui processi di trasformazione e sul passato e il futuro dell'uomo. Aveva commesso tre errori: riconoscere il suo debito nei confronti dei predecessori, basare le sue vedute sull'uomo ed esporre tutte le implicazioni di tali vedute per la società del suo tempo.

## Il viaggio sul *Beagle*

Allorché Darwin riuscì a strappare la promozione agli esami universitari finali, meravigliato egli stesso di avercela fatta, esclamò con grande sollievo: "Ho finito, finito, finito!". A questo punto, e il padre non aspettava altro, egli avrebbe potuto intraprendere la carriera ecclesiastica. Ma Henslow, conoscendo i veri interessi ed aspirazio-

ni del suo ex-alunno (Darwin, pieno di ammirazione per Alexander von Humboldt, aveva pianificato per il 1832 una spedizione naturalistica nelle Isole Canarie e a tale scopo aveva studiato la lingua spagnola), gli trasmise la lettera di un collega matematico il quale, essendo stato incaricato di contattare giovani naturalisti per le missioni geografiche della Marina britannica, prospettava al neo-laureato l'opportunità di viaggiare intorno al mondo a bordo di un brigantino, la *H.M.S. Beagle*, per ben 5 anni. In un primo tempo, il dr. Robert ritenne questa proposta semplicemente pazzesca; ma poi finì col lasciarsi convincere dal cognato Josiah Wedgwood, il quale, conoscendo la passione di Charles per le cose naturali, considerò il tutto come un'occasione magnifica, che non andava assolutamente lasciata perdere. Così, prima ancora di iniziare il viaggio, Darwin ritenne opportuno compiere un tirocinio di geologia di campagna accompagnando Sedgwick per tre settimane nel Galles settentrionale.

Contrariamente a quanto generalmente si crede, il ruolo di Darwin sul *Beagle* non fu quello di naturalista professionista, avente cioè diritto ad una paga, perché ufficialmente esisteva già sulla nave un professionista del genere: il medico di bordo dr. Robert McCormick. Darwin fu accettato essenzialmente come ospite o, per essere più esatti, come compagno di mensa del comandante, il capitano Robert FitzRoy (1805-1865) (Fig. 8).

Uomo di mare dalle capacità eccezionali, inflessibile ed autoritario, FitzRoy era un aristo-



Fig. 8 - Il comandante del brigantino *Beagle*, Robert FitzRoy.

crate discendente del re Carlo II, un conservatore fedelissimo alla Monarchia inglese e devoto ai principi della Bibbia: un perfetto *tory*. E la tradizione della Marina britannica imponeva che un capitano si mantenesse ben distaccato dai suoi sottoposti, consumando i pasti da solo, incontrandosi con gli ufficiali solo per parlare di questioni inerenti alla conduzione della nave ed anche così conversando con essi solo nella maniera più formale e “corretta”.

Ora, allorché fece conoscenza con Darwin, FitzRoy aveva solo 26 anni e sapeva bene quali problemi di ordine psicologico avrebbe potuto determinargli la mancanza di contatti umani nei 5 anni di mare che lo attendevano (il precedente capitano del *Beagle* si era appunto suicidato per depressione). D'altra parte, essendo obbligato dal suo stesso ruolo a non tenere rapporti confidenziali con alcuno del personale di bordo, egli sapeva altrettanto bene che tali rapporti avrebbe potuto ottenerli solo da un passeggero “soprannumerario”, un ospite preferibilmente intelligente, socievole, giovane come lui e dotato di tutte le qualità del vero *gentleman*: e Darwin riuniva appunto tutte queste peculiarità.

McCormick sparì ben presto dalla scena, e si può pensare che ciò sia avvenuto proprio a causa della presenza di Darwin. Questi, infatti, aveva tutti i vantaggi: la confidenza del capitano, un servitore o assistente (Syms Covington) a sua disposizione e denaro sufficiente a consentirgli, dovunque il *Beagle* approdasse, di compiere escursioni sulla terraferma e pagare raccoglitori locali; mentre McCormick era legato alla nave dai suoi obblighi ufficiali. Quando, dopo aver salpato da Bahia, si rese conto che le raccolte naturalistiche di Darwin erano di gran lunga più abbondanti di quelle che egli riusciva a rimediare, deve aver deciso di abbandonare la partita. Appena il *Beagle* attraccò a Rio de Janeiro, colse il pretesto di una malattia e tornò in patria con un'altra nave.

Le vicende del viaggio di Darwin sono abbastanza note e non è qui il caso di ricordarle. Il lettore, piuttosto, è invitato a riflettere sui colloqui quotidiani che, per quasi 5 anni, avvennero nella cabina di comando del *Beagle* tra due personalità così agli antipodi come Darwin e FitzRoy. Come ha fatto notare anche Stephen Jay Gould, la loro relazione deve essere stata carica di tensioni represses, e solo la vernice di cordialità che si confaceva a veri *gentlemen* quali essi erano, unita al

controllo tutto inglese delle loro emozioni, poté mantenerla in termini decenti. Come ospite, e per di più di un capitano di marina così inflessibile, Darwin non poteva certamente manifestare in modo libero e spontaneo i propri dissensi (una volta che lo fece, a proposito della schiavitù vigente nel Brasile, quasi temette di dover abbandonare la nave). D'altra parte, si sa che FitzRoy protestò spesso con Darwin per avergli sentito esprimere dubbi sul primo libro del *Genesis*: dubbi evidentemente generatisi in lui in seguito alla lettura del primo volume dei *Principles of Geology* di Sir Charles Lyell (1797-1875), speditogli da Henslow. Lyell (Fig. 9), infatti, aveva potentemente reintrodotta in geologia il paradigma uniformitario, che, rifiutando l'interpretazione catastrofica dell'epoca (basata sulla fede nel diluvio biblico e ben rappresentata dal reverendo William Buckland), implicava lunghissime durate di tempo e processi geologici estremamente lenti.

Darwin pervenne al materialismo filosofico anche come reazione all'insistenza dogmatica con cui FitzRoy difendeva la Bibbia e l'autoritarismo monarchico? La cosa sembra essere tutt'altro che improbabile. Chissà quale “silenziosa alchimia” può aver lavorato nel cervello di Darwin durante cinque lunghi anni di arringhe insistenti. Comunque sia, la concezione di una “discendenza con modificazione da antenati comuni” di tutti i viventi, fra l'altro criticata e ritenuta improbabile dallo stesso Lyell, non aveva ancora preso campo nella mente del nostro personaggio.

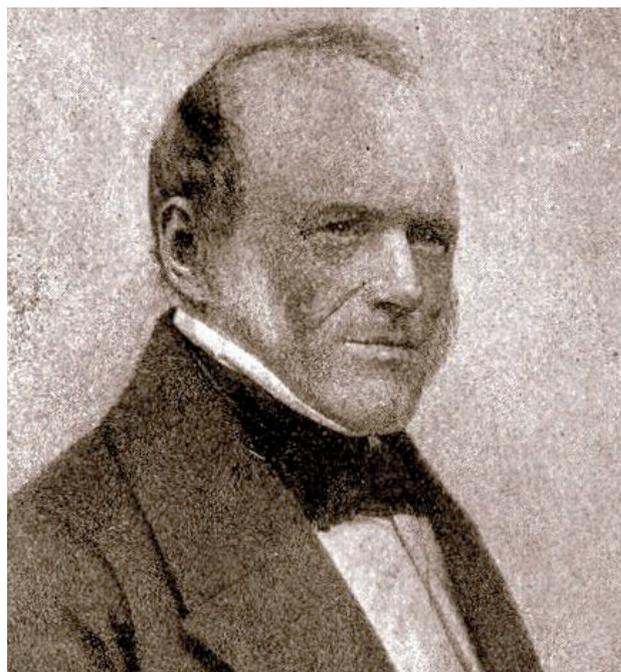


Fig. 9 - Il geologo Sir Charles Lyell.



Fig. 10 - L'ornitologo John Gould.

Le principali preoccupazioni teoretiche di Darwin durante tutto il suo viaggio intorno al mondo, includendovi la visita alle Galapagos ed il tratto di tempo ad essa successivo, furono di carattere molto più geologico che zoologico e comportarono il passaggio dal catastrofismo all'uniformitarismo. D'altra parte, nella sua attività di naturalista Darwin continuava a dare prova di limitata preparazione specialistica e di spirito per lo più dilettantistico, giacché in geologia non sapeva molto né di stratigrafia né di tettonica, mentre in biologia non disponeva di cognizioni anatomiche approfondite. Varie volte, inoltre, come appunto per il caso dei fringuelli delle Galapagos, egli neppure si preoccupava di indicare l'esatta località di provenienza dei suoi esemplari. Ogni sua descrizione ed interpretazione, pertanto, era sempre abbastanza approssimativa e speculativa in quanto non soggetta ad alcun rigoroso metodo di indagine; per cui egli spendeva molto tempo nello stendere una grande quantità di appunti che successivamente, all'atto pratico dell'investigazione scientifica vera e propria, si sarebbero rivelati inutilizzabili.

In conclusione, quindi, per Darwin il viaggio intorno al mondo fu indubbiamente molto importante: ma non in quanto esso gli abbia fornito dati ed informazioni scientifiche tali da condurlo alla formulazione della "sua teoria"; bensì unicamente perché gli diede respiro, libertà e tempo per meditare a modo suo, cioè lasciando corda libera all'immaginazione.

Nel 1836, allorché il *Beagle* rientrò in Inghilterra, Darwin non disponeva di alcuna teoria propria circa il divenire del mondo vivente, però

qualcosa dentro di lui era cambiato o stava cambiando: qualcosa che avrebbe finito per fargli consumare il resto dei suoi giorni in un carcere volontario dominato dall'ambizione repressa e dalla nevrosi, e reso più confortevole soltanto dal calore degli affetti familiari.

### **Una costruzione intellettuale sofferta, tortuosa ed instabile**

Dopo una breve sosta a Cambridge per ordinare le collezioni via via spedite affinché gli specialisti potessero studiarle, Darwin si trasferì a Londra in un appartamento vicino a quello di suo fratello per scrivervi in piena calma il suo *Viaggio di un naturalista intorno al mondo*, un grosso volume che avrebbe conosciuto un notevole successo editoriale in quanto poteva essere letto come un romanzo di avventure. Mentre nel *Viaggio* non si fa cenno che di sfuggita al problema del divenire dei viventi, dai taccuini che furono scritti durante il periodo 1837-1839, e che solo di recente sono stati pubblicati, ci si può rendere conto come Darwin stesse rapidamente convertendosi al paradigma evoluzionistico e al materialismo filosofico.

Forse un notevole impulso in tal senso gli venne fornito dall'ornitologo londinese John Gould (1804-1881) (Fig. 10), secondo cui non pochi esemplari di uccelli raccolti da Darwin in isole differenti dell'arcipelago delle Galapagos, ben lungi dal rivelarsi semplici sottospecie locali di specie abitatrici del continente sudamericano, potevano in realtà essere considerate specie distinte. Più che da studi o indagini di solo carattere naturalistico, comunque, la "conversione" di Darwin sembra essere stata determinata da una situazione emozionale del tutto personale, la quale si manifestava con riflessioni ed auto-interrogazioni non di rado tormentate e inappropriate da un'ottica strettamente scientifica (egli, ad esempio, si domandava il *perché* delle cose, anziché *come* le cose stesse erano composte, funzionavano ed interagivano). D'altra parte, una volta abbracciato il paradigma evoluzionistico, rimaneva a Darwin da compiere il passo più importante: mostrare in modo plausibile, e senza ricadere nelle posizioni di Lamarck, attraverso quali meccanismi il processo di "discendenza con modificazione da antenati comuni" poteva essersi verificato.

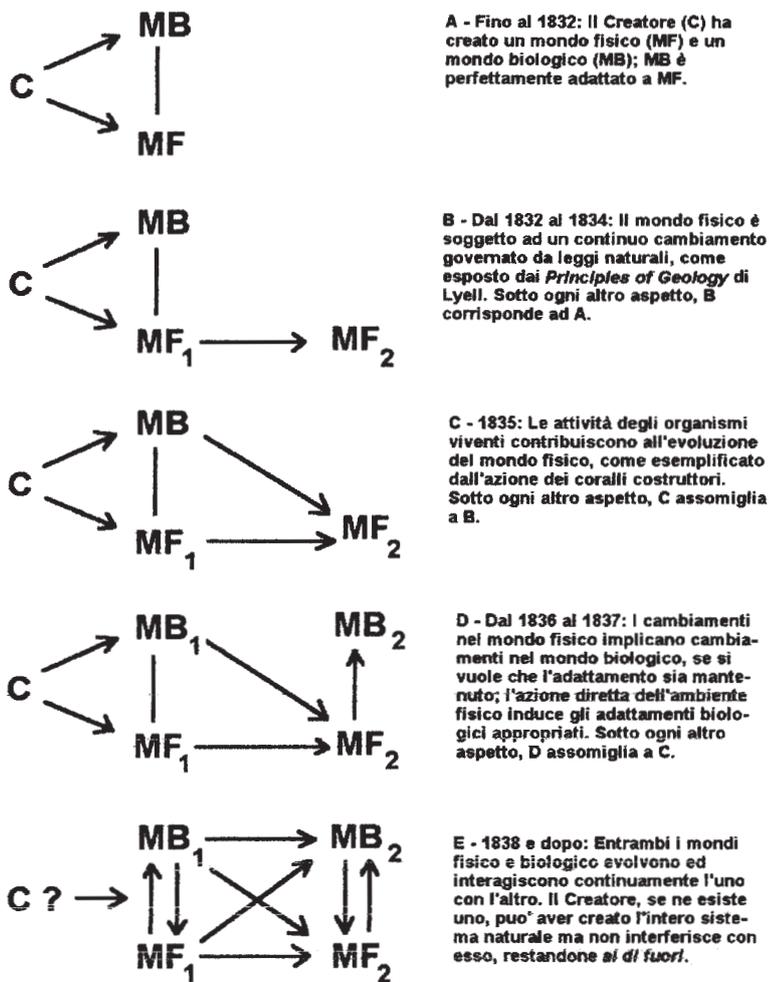


Fig. 11 - Schema evolutivo del pensiero di Darwin secondo Gruber (1974).

I taccuini menzionati testimoniano che Darwin mai raccoglieva fatti in modo disinteressato, bensì unicamente allo scopo di stabilire fino a che punto essi potevano venire coordinati e adattati in modo armonico alla sua tesi preconstituita. Howard Gruber sintetizza in 5 tappe l'evoluzione della visione del mondo di Darwin (Fig. 11).

Il primo modello teoretico di Darwin risale al 1837 (fase D dello schema di Gruber) e consiste nella *concezione delle monadi*. In virtù delle sole leggi naturali, dalla materia inanimata si formerebbero in continuazione semplici particelle viventi, o "monadi", le quali si trasformerebbero divenendo sempre più complesse (fino a questo punto, non c'era differenza fra il suo modo di pensare e quello di Lamarck). Il ciclo evolutivo delle monadi sarebbe analogo a quello della vita degli organismi individuali, cominciando con strutture semplici e poi differenziandosi, divenendo mature, riproducendosi e, dopo un tratto di vita relativamente stabile, terminando con la morte. Alle fasi di differenziazione, maturazione e riproduzione degli organismi individuali corrisponderebbe l'evoltersi da ciascuna

monade di specie nuove e più complesse. *Allorché la vita di una monade cessa, cesserebbe anche quella di tutte le specie che da essa sono derivate* (!). La causa del cambiamento risiederebbe negli incontri accidentali degli organismi con i loro ambienti, incontri che porterebbero al ramificarsi di nuove linee evolutive. Siccome però non tutto ciò che può accadere accade effettivamente, non vi è alcuna necessaria continuità graduale fra tutte le specie viventi. La continuità può essere trovata solo seguendo all'indietro nel tempo le specie attuali fino ad una o poche loro origini comuni. La mancanza di forme intermedie, pertanto, non costituirebbe una prova a sfavore dell'evoluzione, che seguirebbe un corso erratico dando luogo ad un albero genealogico ramificato in modo irregolare. Quanto all'uomo, egli non sarebbe altro che un animale come tutti gli altri e perciò incluso al pari di essi nell'albero della natura; per cui nello studio dei problemi evolutivi le funzioni mentali dovrebbero essere trattate sul medesimo piano di quelle fisico-biologiche.

Dopo il 1838 (fase E dello schema di Gruber), Darwin abbandonò la concezione delle monadi e cercò di giungere alla formulazione di una teoria dell'evoluzione compiuta. Il cammino non consistette in passi fatti uno per volta, ed una volta per tutte, seguiti dai successivi, ma fu percorso secondo più direzioni contemporaneamente. Una buona idea poteva essere presa in considerazione e tenuta in riserva mentre qualche altra idea veniva messa su, magari preparando la strada per un'ulteriore chiarificazione ed utilizzazione dell'idea precedente.

Come prima cosa, Darwin mise da parte l'argomento della generazione spontanea della vita. Non pretendeva che la sua teoria dell'origine delle specie dicesse qualcosa riguardo anche all'origine della vita. La sua era e voleva rimanere una teoria di cambiamento continuo in un sistema in moto, non una spiegazione delle origini di quel sistema. Quanto al meccanismo del cambiamento, mentre all'inizio egli considerava la variazione adattativa come la necessaria conclusione di ogni percorso evolutivo, alla fine egli la considerò alla stregua di una delle premesse che, se propriamente combina-



Fig. 12 - Lo zoologo Edward Blyth.

te, potevano spiegare quel percorso. Le premesse erano tre: l'*eredità*, la *variazione* e la *grande fertilità*. La prima premessa non era specificamente darwiniana (la trasmissione ereditaria e la conseguente rassomiglianza fra le generazioni erano ampiamente accettate). La terza premessa, che i biologi moderni chiamerebbero "pressione selettiva", è il punto chiave: ogni generazione è sufficientemente fertile da produrre figli in numero di gran lunga superiore alla propria, innescando così il processo di competizione e di selezione degli individui meglio adattati. La seconda premessa, la *variazione*, fu utilizzata da Darwin in un certo numero di modi. All'inizio, egli postulò una *variazione adattativa* con tendenza al progresso; poi considerò la *variazione* come non necessariamente *adattativa* (in alcuni casi poteva essere utile e in altri dannosa); infine decise che la *variazione* da sola non era sufficiente e doveva perciò essere combinata con la *selezione naturale*. Per quanto concerne quest'ultima, d'altra parte, a Darwin si presentava il problema – proprio mentre egli cercava di presentarla quale elemento essenziale del cambiamento evolutivo – di comprenderne il vero *significato*.

Loren Eiseley ritiene che il primo accenno ad una vera e propria teoria del progresso basato su "un processo naturale di selezione" risalisse al 1831 e spettasse al botanico scozzese Patrick Matthew. Già pochi anni dopo, comunque, veniva fatto notare che il ruolo assunto in natura dalla selezione non era produttore di novità, bensì decisamente *conservatore*. Nel 1835, infatti, lo zoologo Edward Blyth (Fig. 12) si era posto la domanda cruciale se l'accumulo progressivo dei cambiamenti prodotti dalla selezione naturale poteva condurre, con il tra-

scorrere del tempo, alla creazione di nuove specie; e la sua risposta era stata decisamente negativa. Tutti gli adattamenti biologici, a suo parere, avrebbero sempre favorito la conservazione delle specie esistenti, mai la formazione di nuove specie.

Ora, è assai improbabile che Darwin non conoscesse le idee di Matthew e di Blyth; eppure, malgrado ciò, egli non si riferì né a tali idee né a quelle di altri biologi, bensì essenzialmente a quelle del sociologo Robert Malthus, dell'economista Adam Smith e del matematico statistico Adolphe Quételet. In effetti l'interpretazione darwiniana dell'evoluzione altro non mostrava di essere se non un'estensione al campo biologico del principio del *laissez-faire* economico di Smith: se si voleva una società ordinata ed assicuratrice del massimo benessere per tutti, bisognava lasciare che gli individui competessero liberamente fra di loro e combattessero l'uno contro l'altro per il proprio tornaconto. Il risultato, dopo aver eliminato gli inefficienti e favorito i più efficienti, sarebbe stato un assetto politico stabile ed armonico. L'ordine e l'armonia, insomma, non discenderebbero da un potere autoritario predestinato o da controlli effettuati "dall'alto", ma sorgerebbero spontaneamente dalla libera lotta fra gli individui.

Come allontanare il sospetto che a muovere tutto questo ci fosse soprattutto il bisogno di Darwin di non sentirsi più soggetto a nulla e a nessuno (il padre, gli studi imposti, le arringhe di FitzRoy, la Bibbia, Dio) per competere con gli altri a modo proprio, seguendo cioè semplicemente la propria natura? Come non percepire dietro la concezione di Darwin la sua psicologia costantemente oscillante fra i due poli dell'ansia e del bisogno di libertà? Timoroso ed insofferente dell'autorità e del severo giudizio prima paterni e poi divini, Darwin dà veramente l'impressione di aver trasferito nella sua costruzione intellettuale tutto il suo desiderio di liberarsi dal Padre celeste e di competere con Lui, sostituendolo nella considerazione dei suoi simili. Dietro la facciata cortese ed apparentemente calma e cordiale, da perfetto *gentleman* vittoriano, di questo naturalista dilettante che non esitava a definirsi "il meno filosofico tra gli uomini", pulsava in realtà l'ambizione di essere considerato una grande figura non soltanto della storia della scienza, ma addirittura della storia del pensiero.

Certo è, in ogni caso, che il cammino per la costruzione di una teoria compiuta dell'evoluzione fu per Darwin estremamente sofferto e tutt'altro che lineare, e Gruber non ha trascurato di metterne in evidenza il carattere paradossale.

“Gli mancava ancora da compiere il passo cruciale di *combinare* le premesse della variazione ubiquitaria e della superfecondità malthusiana con un argomento che conducesse in modo logico alla conclusione della selezione naturale e dell’evoluzione progressiva. Questo significa che egli deve aver già scorporato con successo l’idea della selezione naturale dalla trama conservatrice in cui, come abbiamo visto, essa era stata precedentemente inserita. Stiamo forse dicendo che la ristrutturazione dell’argomento dipende da come vediamo il principio della selezione naturale, mentre allo stesso tempo il modo in cui vediamo tale principio dipende dalla ristrutturazione dell’argomento? Sì. Questo è un argomento circolare, o meglio un processo elicoidale. Comprendere la struttura dell’argomento di Darwin come una struttura in sviluppo aiuta a spiegare perché il cammino fino al momento dell’intuizione sembra così tortuoso, ripetitivo, ciclico. Un cammino di questa sorta è il solo modo con cui possa costruirsi un argomento da parti il cui significato dipende dalla struttura del tutto. Il tutto sviluppato *deve* essere adombrato o presagito da passi precedenti e più primitivi nel processo dello sviluppo creativo.” (pp. 173-174)

Sia come sia, l’involuta ed indefinita “teoria” di Darwin soffriva di una debolezza intrinseca, in quanto poggiava su variazioni insorgenti in ogni direzione della cui origine egli non era in grado di fornire alcuna spiegazione soddisfacente; per cui, malgrado si presentasse plausibile, nulla e nessuno erano in grado di garantirne la correttezza. Le teorie plausibili sono spesso sbagliate. Darwin si sarebbe sentito di gran lunga più a suo agio se avesse potuto basare la sua costruzione su una soddisfacente scienza della genetica o ereditarietà, includendovi una comprensione delle cause della variazione. Senza questa conoscenza, tale costruzione equivaleva ad un salto nel buio. Negli scritti destinati al pubblico egli si sforzava di mostrarsi sicuro e tranquillo, ma nei taccuini privati emergono tutte le sue incertezze e tortuose manovre strategiche.

## **La conversione al materialismo filosofico e il ritiro dal mondo**

A partire da questi anni, e nonostante la robusta costituzione ereditata dal padre, Darwin fu tormentato quasi quotidianamente da una malattia che si manifestava con sintomi cangianti ed impre-

cisi: nausea, dolori gastrici ed intestinali, flatulenza, palpitazioni cardiache, problemi della pelle, vertigini, debolezza, insonnia. Su questa strana malattia, a causa della quale un giovane ed avventuroso viaggiatore del mondo si convertì definitivamente in un recluso nella propria casa, molto è stato scritto. Alcuni l’hanno attribuita al morbo di Chagas-Mazza, che viene trasmesso dalla *vinchucca*, un emittero reduvide del Sudamerica, e che Darwin avrebbe contratto nel 1835 mentre percorreva l’Argentina. Tuttavia, poiché ad un esame più approfondito una tale spiegazione si dimostra inadeguata, non può essere scartata l’ipotesi di una malattia di origine essenzialmente psico-somatica. Ciò, del resto, è proprio quanto risulta dallo studio di Thomas Barloon e Russell Noyes, i quali hanno studiato le lettere, i diari, le annotazioni, l’autobiografia e varie biografie di Darwin. Da tutte queste fonti emergerebbero almeno 9 dei 13 sintomi che caratterizzano i tipici casi di “timor panico”. Considerati uno per uno, i sintomi della malattia di Darwin potrebbero essere attribuiti ad un gran numero di malattie differenti; presi però nel loro insieme, sussisterebbero pochi dubbi circa l’attendibilità di questa conclusione.

Nel 1839 Darwin (Fig. 13) sposò la cugina Emma Wedgwood, la quale gli avrebbe dato dieci figli. Più o meno contemporaneamente, egli declinò l’offerta di svolgere il ruolo di segretario della Società Geologica e pagò con un’intera giornata di vomiti l’ansietà generatagli dal solo fatto di aver tenuto una conferenza alla Società Linneana di Londra. Tre anni dopo, Darwin deciderà di ritirarsi con la famiglia in un luogo tranquillo, e la scelta cadrà su una graziosa casa di campagna situata in prossimità di Downe, nel Kent. Da allora, a causa della sua malattia, Darwin non riuscirà più a partecipare a convegni scientifici, né ad intrattenere a lungo ospiti o amici, né a dedicare più di 4-5 ore quotidiane al suo lavoro. I soli viaggi che sarà costretto a compiere – soprattutto quale membro del Consiglio della Società Reale – saranno in ogni caso sempre brevi e regolarmente effettuati con la moglie, talvolta accompagnata dai figli e dalla servitù, in una carrozza dalle cui finestre, accuratamente coperte da tende, non era possibile guardare all’esterno.

Perché questa reclusione volontaria? E a che cosa era dovuto il “timor panico” di Darwin? Non può non essere significativo il fatto che le sue condizioni di salute siano peggiorate soprattutto durante i due decenni che precedettero la pubblicazione



Fig. 13 - Charles Darwin nel 1840, l'anno successivo al suo matrimonio.

di *Sull'origine di specie mediante selezione naturale*. Sicuramente egli ambiva a rivelare al mondo la sua concezione trasformistica; ma c'erano almeno due grandi ostacoli che gli si paravano davanti.

In primo luogo, il suo pensiero conduceva ad un'interpretazione puramente materialistica delle forme viventi, uomo compreso<sup>3</sup>, e ciò sarebbe stato molto più eretico del paradigma evoluzionistico medesimo - che in se stesso non costituiva affatto una novità -, scardinando tutte le tradizioni più profonde del pensiero occidentale. Questo fatto gli avrebbe inimicato sia la Chiesa che la maggior parte degli ambienti accademici, distruggendogli la reputazione.

In secondo luogo, la "sua teoria" era stata, sì, formulata, ma non sulla base di un corredo di fatti scientificamente fondati. Del tutto all'opposto, essa aveva *preceduto* i fatti. Come giustificarla e sostenerla, dunque, di fronte al pubblico accademico?

Al primo di questi ostacoli, Darwin non seppe opporre altro che il silenzio. Egli, cioè, tenne nascoste le sue vere idee, facendo sapere che era semplicemente interessato a raccogliere informazioni riguardanti il problema della variabilità dei viventi. Scrisse, comunque, due brevi saggi che consegnò alla moglie affinché venissero pubblicati nell'eventualità della sua morte.

Quanto al secondo ostacolo, egli si illuse di rimediare semplicemente "spremendo" i cervelli di altri, fossero questi allevatori profani, scienziati professionisti o semplici conoscenti. Poiché la sua malattia e la sua condizione di naturalista dilettante non gli permettevano di andare molto più in là di qualche primitivo esperimento nel suo giardino o nel capannone che vi era situato, egli poneva continuamente ed insistentemente quesiti e problemi ai suoi "esperti" - soprattutto i botanici Joseph Dalton Hooker (Fig. 14) e Asa Gray (Fig. 15), il già ricordato geologo Charles Lyell e lo zoologo Thomas Huxley (Fig. 16) -, trattandoli sempre con somma deferenza e più volte non esitando ad adularli. Egli chiamava Lyell, ad esempio, il suo "Lord Alto Cancelliere" e Hooker "il giudice di gran lunga più competente in Europa". Il suo carteggio è immenso ed i volumi finora pubblicati non sono che una parte di esso, la sola corrispondenza con Hooker ammontando a circa 1.500 pagine. Per avere un'idea sufficientemente precisa dell'atteggiamento usato da Darwin con i suoi corrispondenti, basta prendere la prima lettera inviata a Hooker il 14 gennaio 1844: "Io sono quasi convinto (abbastanza contrariamente all'opinione da cui ero partito) che le specie non sono (è come confessare un assassinio) immutabili. (...). Penso di avere scoperto (ecco la presunzione!) il modo semplice con il quale le specie divengono squisitamente adattate a vari fini". Il "modo semplice" era, ovviamente, la selezione naturale e Hooker fu il primo al mondo a conoscere - e a criticare - il segreto di Darwin. Secondo quest'ultimo, erano le migrazioni di sottogruppi di animali verso isole o là dove c'erano stati cambiamenti geologici, a sviluppare nuove specie.

Ai due ostacoli precedentemente indicati si aggiungeva il già ricordato fatto di non riuscire a capire chiaramente in che modo si originassero in natura le variazioni individuali. Darwin non ne venne fuori, ed alla fine ripiegò nell'ammettere che esse insorgessero per puro caso.

## La pubblicazione di *Sull'origine di specie*

Per i motivi suddetti, dopo ben 20 anni dalla formulazione della "sua teoria", Darwin non aveva ancora pubblicato nulla in proposito, consumando molto tempo in ricerche meno pericolo-



Fig. 14 - Il botanico Joseph Dalton Hooker.



Fig. 15 - Il botanico statunitense Asa Gray.



Fig. 16 - Lo zoologo Thomas Huxley.

se (ad esempio i quattro volumi sulla sistematica dei Crostacei Cirripedi) e continuando ad accumulare stress per le sue ambizioni insoddisfatte (Fig. 17), fino a cadere addirittura preda di incubi nei quali assisteva impotente alla propria impiccagione. Forse egli non avrebbe mai pubblicato nulla, se non fosse stato per la comparsa sulla scena del naturalista Alfred Russel Wallace (Fig. 18), che dall'Amazzonia e dall'Indonesia era giunto indipendentemente all'idea della divergenza da antenati comuni per selezione naturale, e perciò minacciava di spogliarlo della tanto pro-

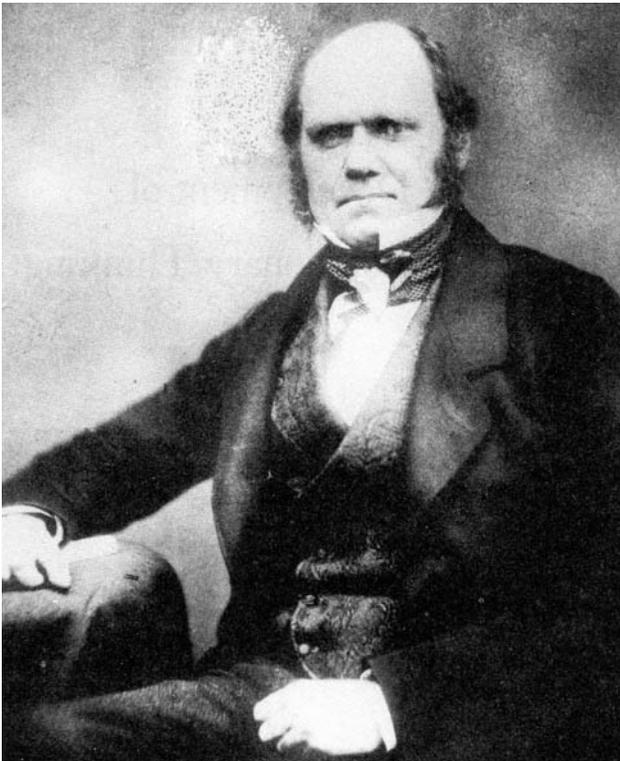


Fig. 17 - Charles Darwin nel 1854. La foto mostra in modo evidente il suo stato di stress.

clamata e difesa originalità della “sua teoria”. Questo fatto, insieme alle pressioni da parte di Hooker e di Lyell, lo convinse a mettere frettolosamente per iscritto i suoi punti di vista: cosa che egli fece rielaborando anche pesantemente i suoi precedenti manoscritti alla luce di quanto via via veniva apprendendo dalle lettere inviategli da Wallace. A questo proposito, il saggio di Roy Davies, *The Darwin Conspiracy* (2008), è particolarmente esplicito e significativo.

Il 1° luglio 1858 la Società Linneana di Londra annunciò la teoria di Darwin-Wallace della discendenza con modificazione per selezione naturale, dando così la precedenza a Darwin ed accettando perciò il giudizio degli influenti Hooker e Lyell malgrado avesse lì sul tavolo il famoso *Ternate Essay* di Wallace, scritto in febbraio ed inviato a Darwin il 9 marzo mentre il suo autore era prostrato dalla malaria nell'Isola di Ternate, sullo Stretto delle Molucche.

In entrambe le loro comunicazioni, Darwin e Wallace sostenevano che era stata appunto la selezione naturale il meccanismo che aveva portato alla produzione di nuove specie durante la storia della vita. Va ben sottolineato, comunque, che nessuno dei due autori disponeva di dati sperimentali qualitativamente diversi da quelli di Blyth. Non c'era allora nessun caso che “provasse” in maniera inequivocabile la formazione di una nuova specie. D'altra parte, Darwin e Wallace non dimostrarono che le argomentazioni di Blyth erano sbagliate. La conclusione che la selezione è una forza conservatrice e non innovatrice rimaneva e rimane tuttora basata su troppi fatti sperimentali per essere contestata. Come fu possibile, allo-



Fig. 18 - Lo zoologo Alfred Russel Wallace.

ra, capovolgerne il ruolo e concludere che quella forza di conservazione era in realtà la vera potenza responsabile della creazione delle “novità” evolutive?

La risposta dettagliata di Darwin a questo problema venne un anno dopo con la sua opera *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (1859). Per Darwin, in ultima analisi, in natura esistevano unicamente varietà, e le discontinuità fra i gruppi viventi erano reali non perché avessero avuto luogo processi qualitativamente diversi dai normali piccoli cambiamenti che davano origine alle varietà, ma unicamente perché nel corso della storia geologica erano avvenute estinzioni reali che avevano distrutto i gruppi intermedi. *Sull'origine di specie* divenne rapidamente un *best-seller* per svariati motivi, tutti accuratamente programmati dal suo autore: come (all'opposto di quanto aveva fatto Lawrence) l'aver asserito di non dover nulla alle opere di predecessori (cosa tutt'altro che vera, e perciò ingiusta), il non aver minimamente accennato all'origine evolutiva dell'uomo ed il non aver suggerito implicazioni di alcun genere per la società del suo tempo. L'epoca, comunque, era più che matura per accogliere il messaggio dell'*Origine*, il quale esprimeva e drammatizzava ciò che molti oscuramente sentivano o sospettavano dentro di sé. L'accesa propaganda di Huxley, che si autodefiniva “il *bull-dog* di Darwin”, fece poi quanto rimaneva per abbattere la crosta residua delle opinioni convenzionali.

Ora, se in privato Darwin ammetteva tranquillamente di aver ricavato da altri le informazioni utilizzate per comporre l'*Origine*, in pubblico egli sembrava presentarle come frutto di ricerche originali proprie. In realtà, il meno che si può dire è che i fatti da lui raccolti erano di seconda mano ed in molti casi neppure controllati o verificati. Darwin, tuttavia, non se ne curava. Egli non si preoc-

cupò mai di mettere a confronto i dati favorevoli e quelli sfavorevoli alla sua teoria. Darlington scrive a chiare lettere che “egli avrebbe senz'altro accettato qualsiasi racconto di vecchie comari, purché fosse stato di supporto alla sua teoria, alla sua convinzione illusoria, della pangenesi” (p. 61; della pangenesi diremo tra breve). E se qualcuno gli rivolgeva qualche giustificata obiezione, non trovava di meglio che adottare una strategia evasiva appellandosi alla nostra grande ignoranza. Ecco un esempio del suo argomentare: “Siamo di gran lunga troppo ignoranti, in qualsiasi cosa, per avere il diritto di asserire che ogni variazione, anche minima, sia così poco importante per il benessere di una specie, da far sì che le modificazioni nella sua struttura non possano essersi lentamente accumulate mediante la selezione naturale. Ma possiamo crederlo con confidenza” (discorso incredibilmente contorto, che pretenderebbe di far credere come tre negazioni possano equivalere ad un'affermazione!). Com'è stato messo in evidenza particolarmente da Gertrude Himmelfarb, Darwin faceva spesso ricorso ad una strana e caratteristica “logica delle possibilità”, consistente nell'ammettere che – diversamente dalla logica consueta, per la quale avviene esattamente il contrario – varie possibilità si sommino a generare probabilità e che queste ultime, sommandosi ulteriormente l'una all'altra, generino certezza. Darwin, per esempio, assumeva che la mera *possibilità* di immaginare una serie di passaggi intermedi tra una condizione organica ed un'altra doveva essere accettata come ragione valida per ritenere *probabili* questi passaggi, portando così a far credere praticamente *certo* il loro verificarsi. Finalmente, allorché egli stesso si accorgeva di non poter rendere conto di determinati fatti clamorosamente sfavorevoli alla “sua teoria”, chiudeva ogni discussione col rimarcare che tale teoria, essendo in grado di spiegare così tante cose altrimenti inesplicabili,... non poteva assolutamente essere falsa!

Scrive Giulio Barsanti: “Darwin non si è mai nascosto l'inadeguatezza delle sue teorie: nell'*Origine delle specie* definisce ancora ‘sconosciuti’, ‘oscuri’ o ‘misteriosi’ (*unknown, obscure, mysterious*) numerosi fenomeni, e fenomeni di grande rilievo. Per ben trenta volte corre questa sua dichiarazione di impotenza (confessione di ‘profonda ignoranza’), che non per caso lo determina a riscrivere l'opera cinque volte (1860, 1861, 1866, 1869, 1872) e per apportarvi non lievi ritoc-

chi: nell'ultima edizione, l'*Origine delle specie* contiene teorie diverse da quelle del 1859. (...). Da qui – dalla professione di incertezza che scaturisce dall'ammissione della 'profonda ignoranza' – il pluralismo di Darwin: pluralismo fenomenico ed esplicativo.” (2005b, pp. 7-8). Ed è appunto nell'ottica di questo “pluralismo” esplicativo (termine usato da Stephen Jay Gould) che diviene comprensibile, secondo Barsanti, perché Darwin non abbia mai puntato tutto esclusivamente sulla selezione naturale e perché sia del tutto fuori di luogo parlare di una “teoria darwiniana dell'evoluzione”. “È invalso l'uso di parlare della teoria darwiniana: che in realtà è un complesso di teorie (la lotta per l'esistenza, la natura delle 'piccole differenze individuali', il ruolo del caso, la selezione naturale, gli effetti ereditari dell'uso, la correlazione dello sviluppo, l'incidenza dell'isolamento geografico, la divergenza dei caratteri, il coadattamento e la coevoluzione, la pangenesi, la selezione sessuale, l'origine degli istinti, la dinamica degli psichismi,...): un complesso che si è evoluto, di teorie multifattoriali. E che rinvia a un fenomeno che si è configurato diversamente nel corso del tempo: nel senso che anche l'evoluzione si è evoluta.” (2005b, pp. 9-10).

Ci risulta assai difficile pensare che quelle elencate da Barsanti possano essere considerate “teorie” esplicative dell'evoluzione. Quanto al valore delle successive revisioni di *Sull'origine di specie*, riteniamo di dover condividere il punto di vista di Eiseley allorché questi commenta la “risposta” data da Darwin alle osservazioni critiche di Fleeming Jenkin (1833-1885) (Fig. 19) relative al valore della selezione naturale quale meccanismo evolutivo. Jenkin aveva fatto notare che eventuali variazioni vantaggiose insorte per caso in individui appartenenti ad una popolazione verrebbero ben presto soffocate e cancellate dalla popolazione stessa. Tali individui, infatti, finirebbero per accoppiarsi con *partners* normali, per cui la loro rara variazione vantaggiosa non potrebbe sopravvivere a lungo, estinguendosi nella popolazione stessa. Un'evoluzione potrebbe verificarsi soltanto postulando che volta per volta grandi insiemi di individui mutino simultaneamente in senso vantaggioso nella medesima direzione; ma ciò corrisponderebbe più ad una teoria di “creazioni successive” che ad una teoria impostata sul caso e sulla selezione. Ecco dunque il commento di Eiseley: “L'ultima edizione dell'*Origine delle specie* contiene, alla luce delle opinioni di Jenkin,

alcune osservazioni piuttosto sorprendenti. ‘Per ogni leggera differenza individuale,’ dice Darwin, ‘dev'esserci una qualche causa efficiente, così come per variazioni molto più marcate che insorgono occasionalmente; e se la causa sconosciuta dovesse operare in modo persistente, è quasi certo che tutti gli individui della specie sarebbero modificati in modo simile.’ (Il corsivo è mio: L.E.). Nelle righe citate Darwin ha accolto l'argomentazione di Jenkin, la quale consentiva di conservare l'evoluzione ma al prezzo della rinuncia al carattere casuale delle variazioni. Una riga dopo troveremo però l'affermazione di aver sottovalutato ‘la frequenza e l'importanza delle modificazioni dovute alla variabilità spontanea’. Darwin, con la sua capacità di compromesso, ha accettato qui un punto di vista che, se sviluppato, sarebbe stato metafisicamente fatale al suo sistema e, nello stesso tempo, ha accresciuto il ritmo della variazione per cercare di sottrarsi alla logica dell'argomentazione di Jenkin. Il numero di queste contraddizioni nascoste rende le successive edizioni dell'*Origine delle specie* istruttive ma di difficile lettura. Per chiarezza e ragionevole coerenza la prima edizione è di gran lunga la più soddisfacente.” (1975, p. 191).

Nei suoi libri Darwin non accennò mai all'argomentazione di Jenkin; ciò nonostante vi si sottrasse umilmente e diligentemente: tant'è che finì per prendere le distanze dalla selezione naturale e per ripiegare in buon ordine sull'assunzione lamarckiana che i caratteri acquisiti venivano trasmessi ai discendenti. L'azione dell'ambiente nel cambiare l'eredità diveniva così il meccanismo “persistente” dell'evoluzione, non soltanto *causando*, ma anche *dirigendo* la variazione. Questo mutamento di rotta venne codificato con la sua

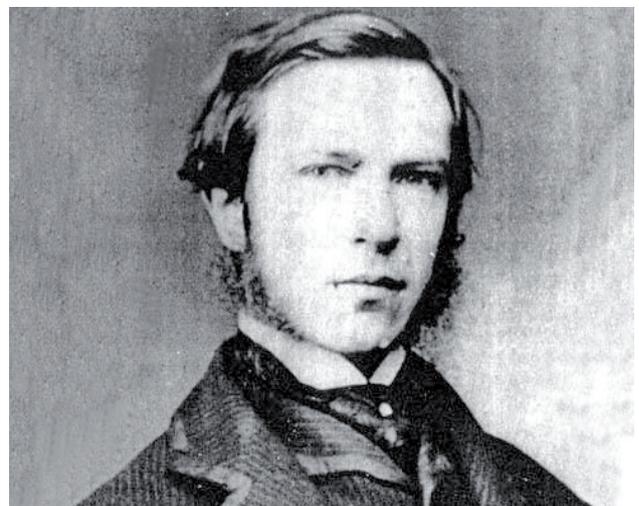


Fig. 19 - L'ingegnere scozzese Fleeming Jenkin.

teoria della “pangenesi”, esposta nel 1868 in *Variation of animals and plants under domestication*, la quale postulava il montaggio di nuovi individui potenziali dalle cellule somatiche degli organismi esistenti. Darwin supponeva che le cellule del corpo emettessero minuscole particelle materiali e che queste particelle, o “gemme” come egli le chiamava, si raccogliessero, provenendo da tutte le parti del corpo, nelle cellule sessuali dell’organismo. Ogni carattere deriverebbe pertanto dai tessuti somatici, o dal corpo, e le cellule germinali conterrebbero solo ciò che viene portato ad esse dalla corrente sanguigna proveniente da tutte le parti del corpo. Il germe sarebbe semplicemente uno strumento per creare un nuovo corpo dal miscuglio delle particelle corporee dei genitori.

Non si può certo dire che l’idea di Darwin fosse originale, dal momento che la si può trovare da Ippocrate fino a Lamarck. Indicando quali meccanismi del cambiamento evolutivo *sia* la selezione naturale *sia* l’ereditarietà dei caratteri acquisiti, pertanto, il nipote di Erasmus non faceva altro che ricollocarsi sul sentiero del nonno.

### **Conquistador dell’immaginario collettivo**

Quale bilancio finale possiamo dunque trarre nei confronti di Darwin come uomo e come scienziato?

Alcuni autori non hanno mancato di esprimere giudizi assai severi.

Secondo Cyril Dean Darlington, “(i suoi) difetti erano di tre tipi: una prospettiva conservatrice sotto ogni rispetto eccettuata l’ipotesi evuzionistica; un’incapacità di riconoscere e confrontare le sue idee, le sue idee portanti, con quelle di altri che lavoravano nello stesso campo; e una strategia flessibile che non può conciliarsi con un’integrità intellettuale neppure di medio livello: contrariamente a Wallace, Lyell, Hooker, Chambers e perfino Spencer, Darwin era sfuggente.” (p. 60). E ancora: “Sembra incredibile che l’apostolo dell’evoluzione debba essere stato così deficiente di senso storico: ad un punto tale da non essersi mai accorto, malgrado fosse profondamente interessato alla propria originalità, che le sue erano idee di seconda mano. Egli pensava di averle elaborate tutte da solo malgrado le avesse semplicemente selezionate. Inoltre le sue idee erano meno

chiaramente selezionate e meno chiaramente espresse e, peggio di tutto, meno strettamente e meno apertamente difese e mantenute delle idee di coloro che le avevano pensate per primi. Egli non affrontò mai la questione cardinale dell’evidenza a favore o contro l’ereditarietà dei caratteri acquisiti, che è più difficile e perciò più importante della questione se l’evoluzione sia avvenuta o meno. Perciò egli fu capace, come la metteva, di ‘divincolarsi’: si divincolò con tale successo che alla fine egli stesso non sapeva più dove si trovava. L’indipendenza di Darwin dalle idee di altri lo condusse (lui ed i suoi ammiratori) a pensare di se stesso come ad un uomo dotato di idee. Ciò lo portò a ricopiare le osservazioni dagli scritti dei suoi predecessori pur ignorandone le teorie. I suoi metodi nutrono le sue illusioni. Egli cominciò sempre più a lesinare lodi a quelli che di fatto gli avevano lastricato la strada. Questo lo si vede molto bene se lo mettiamo a confronto con i suoi contemporanei. Sia Chambers che Naudin elogiavano Lamarck nel medesimo tempo in cui lo contestavano. Darwin stroncava Lamarck e anche suo nonno per essere stati colleghi assai malvestiti, nello stesso momento in cui era impegnato a rubare i loro vestiti. Egli ridicolizza le speculazioni di Lamarck e le corona con le proprie. Egli si fa beffe delle ‘fluttuanti opinioni’ di Buffon nel medesimo momento in cui egli stesso fluttua da un’edizione all’altra e perfino da un capitolo all’altro, con un opportunismo che giudiziosamente si sforza di nascondere” (p. 62).

Altri autori come Gruber, invece, pur esprimendo pesanti perplessità, preferiscono non pronunciarsi in modo netto. “Darwin era un codardo pusillanime, intento a modellare il suo argomento per adattarlo all’indole dei tempi, oppure era un maestro di strategia che riuniva pazientemente le sue forze ma che aspettava a far fuoco fino al momento più propizio per un assalto vittorioso? La risposta a domande di questo genere non è semplice.” (p. 32).

Forse è possibile dire di Darwin quello che una volta Sigmund Freud disse di se stesso in una frase riportata da Randall Collins e Michael Makovsky: “Io non sono realmente un uomo di scienza, né un osservatore, né uno sperimentatore, e neppure un pensatore. Per temperamento, io non sono altro che un *conquistador*, con la curiosità, la sfrontatezza e la tenacia che appartengono a questo tipo di esseri”.

Infatti, se Freud fu come un *conquistador* nel-

l'ambito dell'irrazionale, sicuramente Darwin non lo fu meno nell'ambito dell'immaginario collettivo relativo al mondo della natura.

*A Charles Darwin non interessava affatto stabilire come realmente si è svolta l'evoluzione dei viventi, ma soltanto introdurre e far radicare definitivamente nella mente del pubblico accademico e profano l'idea che tutte le creature viventi, compreso l'essere umano con la sua dimensione psichica, non si conformano a modelli o archetipi implicanti l'esistenza di fattori olistici o "superordinatori", ma sono soltanto l'effetto di un semplice, lungo e lento processo meccanico di discendenza con modificazione da una progenitura comune svolgente il ruolo di causa iniziale.*

Tutti sappiamo molto bene che Darwin ha raggiunto il suo obiettivo. Ma il fatto più sorprendente, e di cui soltanto pochissimi sembrano essersi resi conto, è che egli lo ha raggiunto in maniera ingannevole e forse beffarda, regalando all'umanità un tortuoso, instabile e confuso "complesso di teorie" riprese da autori precedenti e corazzandolo con ripetuti richiami alla nostra "profonda ignoranza".

Sia pure perfezionandolo e completandolo, il presente articolo riprende integralmente quello intitolato *Charles Darwin, conquistador dell'immaginario collettivo*, pubblicato nel 2007 in "Avallon", 56: 35-60, Rimini. Ringrazio l'editore Il Cerchio Iniziative Editoriali per avermi concesso di ripubblicarlo.

## Note

<sup>1</sup> Ancora oggi la maggior parte degli specialisti, e conseguentemente anche di coloro che si impegnano a divulgarne le opere, non si cura di distinguere fra le espressioni di "evoluzione", "evoluzionismo", "teoria dell'evoluzione", "teoria di Darwin" e "darwinismo". Come risultato di ciò, per il vasto pubblico tutte queste espressioni finiscono per significare praticamente la stessa cosa, mentre in realtà non è così. Riteniamo dunque di fare cosa utile proponendo il seguente "dizionario" chiarificatore.

L'EVOLUZIONE è quel grandioso fenomeno naturale per il quale la vita sulla Terra non si è perpetuata *ab initio* in maniera uniforme, bensì ha variato ripetutamente di configurazione nel tempo e nello spazio, rivelando – sia pure unicamente in una prospettiva molto ampia – un progressivo incremento di complessità: prima i batteri o procarioti, poi gli eucarioti unicellulari e infine gli eucarioti vegetali e animali, con il genere umano tra gli ultimi arrivati. Questo fenomeno è attestato e ribadito pressoché quotidianamente dai rinvenimenti fossili e perciò corrisponde ad un dato di fatto impossibile da contestare.

L'EVOLUZIONISMO, invece, designa la corrente di pensiero secondo cui l'evoluzione consisterebbe in un mero proces-

so naturale di "discendenza con modificazione da progenitura comune", implicante cioè la connessione ereditaria diretta e la spiegazione con gli antecedenti secondo l'ordinaria logica deterministico-causale del *post hoc, ergo propter hoc*, e pertanto pienamente rappresentabile tramite il modello canonico lineare dell'albero genealogico o cladistico-filogenetico. Qui si ha a che fare con un vero e proprio *paradigma* nel senso di Thomas Kuhn, cioè una sorta di postulato accettato *a priori* dall'immaginario collettivo e sulla base del quale vengono costruite ipotesi, pianificati programmi di ricerca, interpretati i risultati ottenuti dalla messa in atto di tali programmi ed organizzata la didattica in ambito sia scolastico-universitario (lezioni) che pubblico (musei ed esposizioni). *Diversamente dal fenomeno o dato di fatto dell'evoluzione, questo paradigma può essere messo in discussione.*

La TEORIA DELL'EVOLUZIONE intesa in senso generale dovrebbe designare l'intero insieme delle attività teoretiche finalizzate a dare una spiegazione scientifica del fenomeno dell'evoluzione; se non che, succede che questo fenomeno venga pressoché universalmente recepito non così come oggettivamente si presenta in base ai risultati della paleontologia, ma come lo vedono i seguaci dell'evoluzionismo. In questo secondo caso, "teoria dell'evoluzione" diventa sinonimo di "evoluzionismo".

Di TEORIE DELL'EVOLUZIONE intese in senso particolare ce ne sono molte e tutte quante hanno come unico obiettivo quello di spiegare *come*, ovvero *tramite quali modalità o meccanismi*, ha potuto verificarsi il fenomeno generale messo in evidenza dalla paleontologia. Ricordo, senza pretendere di essere completo: la teoria di Lamarck, il primo neodarwinismo (di Weissman), il neolamarckismo (di Cope, Déperet ed altri), la nomogenesi di Berg, l'aristogenesi di Osborn, l'ologenesi di Rosa, la cosmolisi di Blanc, la teoria dell'*age and area* di Willis, il tipostrofismo di Schindewolf, l'emicazione di Nilsson, il secondo neodarwinismo o teoria sintetica (di Dobzhansky, Huxley, Mayr, Simpson e vari altri), la teoria dello "spazio, tempo, forma" di Croizat, il modello dei *punctuated equilibria* di Eldredge e Gould, la teoria neutralista di Kimura, la teoria semantica di Barbieri e la teoria costruttiva di Sarà.

La TEORIA DI DARWIN non è stata inclusa nel suddetto elenco in quanto, come risulterà anche dal presente articolo, semplicemente *non esiste*. Se è infatti innegabile che Darwin, nella prima edizione di *Sull'origine di specie*, fece pieno affidamento sul meccanismo deterministico "variazioni fortuite – selezione naturale", è altrettanto innegabile che nelle edizioni successive della medesima opera egli divenne progressivamente più incerto e confuso in proposito, tanto da sconfessare apertamente l'importanza della selezione naturale e ricadere nel più puro lamarckismo.

Il (NEO)DARWINISMO, invece, esiste eccome, e rappresenta da oltre mezzo secolo la posizione teorica "ufficiale" del mondo accademico. Nella sua formulazione più ortodossa, esso considera il fenomeno dell'evoluzione come nient'altro che il prodotto di mutazioni fortuite, segregazioni, ricombinazioni ed effetti di deriva genetica a livello dei genotipi, sui fenotipi dei quali agisce poi la selezione naturale conservando quelli meglio adattati all'ambiente ed eliminando tutti gli altri. Azzardarsi a criticarlo può comportare il rischio di essere additati con disprezzo come retrivi "creazionisti" o seguaci del cosiddetto *Intelligent Design*, e pertanto nemici del progresso scientifico.

<sup>2</sup> Dopo Carl von Linné (Linneo) (1707-1778), tra i biologi andò progressivamente potenziandosi una corrente sotterranea di dubbio circa la fissità delle specie, la quale si manifestò nel modo più aperto soprattutto in quella nazione che, mal governata, andava avviandosi agli anni tempestosi della Rivoluzione. Nel mondo intellettuale francese si sviluppò un crescente interesse nei confronti dell'uomo e del suo destino, della natura della società, della lotta dei poveri e degli oppressi per l'esistenza. Si cominciò, allora, a studiare la popolazione umana in relazione alla quantità di cibo disponibile e furono stabilite analogie con la vita selvaggia, mentre il risentimento contro il dogmatismo ecclesiastico stimolò la diffusione del deismo filosofico e l'innalzamento del secondo libro della rivelazione – la natura – al di sopra di quello scritto. Fu in questo clima, prontamente ripercuotentesi nella vicina Inghilterra e successivamente rinforzato da una fede crescente nella rivoluzione industriale, nel progresso scientifico-tecnologico e nella superiorità dell'uomo occidentale, che elaborarono i loro scritti Benoît de Maillet (1656-1738), Bernard Le Bouvier de Fontenelle (1657-1757), Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), Jean-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788), Julien Offroy Delamétherie (1709-1751), Denis Diderot (1713-1784), Erasmus Darwin (1731-1802), Jean-Baptiste Monet de Lamarck (1744-1829), William Wells (1757-1817), William Lawrence (1783-1867), James Prichard (1786-1848), Patrick Mathew (1790-1874), Robert Grant (1793-1874), Robert Chambers (1802-1871), Sir Edward Blyth (1810-1873), Charles Naudin (1815-1899), Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Russel Wallace (1823-1913). Fu grazie all'opera di questi autori che andò gradualmente formandosi e diffondendosi il paradigma evolucionistico. Così, se fino ad allora il compito fondamentale dei naturalisti era stato essenzialmente quello di ricercare gli *archetipi*, ovvero i modelli o “piani strutturali”, in base ai quali risultavano plasmate le produzioni della natura, per gli evolucionisti tutto ciò terminò di avere un senso in quanto tali archetipi semplicemente non esistevano: fra i gruppi dei viventi non c'erano barriere o discontinuità qualitative, ma soltanto vuoti o lacune determinatisi nel corso del tempo in seguito all'eliminazione dalla catena evolutiva di un gran numero di “anelli di collegamento”; e poiché i suddetti gruppi, avendo origine comune, erano tutti imparentati fra loro, obiettivo della scienza diventava essenzialmente quello di ricostruirne la genealogia.

<sup>3</sup> Dalle opere pubblicate quando era in vita non è facile capire se Darwin fosse effettivamente un materialista oppure no. In tali opere, infatti, la questione dell'esistenza di Dio è affrontata solo in brevi e saltuarie allusioni, dalle quali si potrebbe comunque evincere uno spazio lasciato aperto al Creatore, per lo meno in forma deista, sulle due questioni dell'origine dell'intero sistema di leggi che governa il mondo naturale e dell'origine della vita. In *La variazione degli animali e delle piante domestiche* il lettore è lasciato praticamente decidere per proprio conto, mentre da varie lettere e dall'*Autobiografia*, pubblicate postume, sembra trasparire una posizione agnostica. Tutte queste incertezze, comunque, scompaiono definitivamente alla lettura degli scritti privati di Darwin (essenzialmente i taccuini M ed N), dove la sua posizione materialistica emerge in maniera inequivocabile. Per lui, la coscienza dell'uomo non era altro che l'effetto di una “sufficiente perfezione organizzativa” della struttura corporea.

## Testi citati e consultati

Barloon T. & Noyes R. (1997) – *On the origin of Darwin's ills – possible psychiatric problems of Charles Darwin*. Discover, 9 January.

Barrett P.H. (1974) – *Darwin's Early and Unpublished Notebooks*. In: Gruber H.E., *Darwin on Man: A Psychological Study of Scientific Creativity*. Wildwood, London, 1974.

Barrett P.H. (1977) – *The Collected Papers of Charles Darwin*. University of Chicago Press, Chicago.

Barsanti G. (2005a) – *Una lunga pazienza cieca. Storia dell'evoluzionismo*. Einaudi, Torino.

Barsanti G. (2005b) – *Il pluralismo di Darwin*. In: *La logica dell'evoluzione dei viventi. Spunti di riflessione* (Scapini ed.), 7-10, Firenze University Press, Firenze.

Bouanchaud D.H. (1976) – *Charles Darwin et le transformisme*. Payot (tr. it.: *Attualità di Darwin*, Feltrinelli, Milano, 1982).

Bowler P.J. (1983) – *The Eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian Theories in the Decades around 1900*. Johns Hopkins University Press.

Brent P. (1981) – *Charles Darwin: “A Man of Enlarged Curiosity”*. Heinemann, London, 1981.

Brent P. (1982) – *The Secret Life of Charles Darwin*. Science Digest, July, 40-42.

Burckhardt F. & Smith S. (1990a) – *The Correspondence of Charles Darwin, Vol. 5, 1851-1855*. Cambridge University Press, Cambridge.

Burckhardt F. & Smith S. (1990b), *The Correspondence of Charles Darwin, Vol. 6, 1856-1857*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Cain A.J. (1979) – *Elementary, my dear Eiseley*. Nature, 282, 13 December.

Clark R.E.D. (1966) – *Darwin, Before and After: An Examination and Assessment*. The Paternoster Press, Exeter.

Collins R. & Makowsky M. (1998) – *The Discovery of Society*. McGraw-Hill, Boston.

Continenza B. (1998) – *Darwin: una vita per un'idea, la teoria dell'evoluzione*. I grandi della scienza, 4, Le Scienze, Milano.

Corsi P. (2000) – *Lamarck. Il mondo naturale si affaccia all'evoluzione*. I grandi della scienza, 18, Le Scienze, Milano.

Crombie A.C. (1959) – *Darwin's Scientific Method*. Actes du IX Congrès International d'histoire des Sciences, Barcelona, II, 354-362.

Darlington C.D. (1960) – *Darwin's Place in*

History. Blackwell, Oxford.

Davies R. (2008) – *The Darwin Conspiracy. Origins of a Scientific Crime*. Golden Squame Books, London.

De Latil P. (1982) – *Darwin alle Galàpagos*. Nuova Scienza, 23 marzo.

Desmond A. (1982) – *Archetypes and Ancestors: Palaeontology in Victorian London 1850-1875*. Blond & Briggs, London.

Desmond A. & Moore J. (1991) – *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist*. Norton, New York/London (tr. it.: *Darwin*, Bollati Boringhieri, Torino 1992).

Eiseley L. (1958) – *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It*. Doubleday, New York (tr. it., *Il secolo di Darwin*, Feltrinelli, Milano, 1975).

Eiseley L. (1959) – *Charles Lyell*. Scientific American, 201: 98-106.

Eiseley L. (1979) – *Darwin and the Mysterious Mr X: New Lights on the Evolutionists*. Dent, London, 1979.

Ekman P. (1973) – *Darwin and Facial Expression: A Century of Research in Review*. Academic Press, New York.

Fichman M. (2004) – *An Elusive Victorian: The Evolution of Alfred Russel Wallace*. The University of Chicago Press, Chicago.

Gillespie N.C. (1979) – *Charles Darwin and the Problem of Creation*. University of Chicago Press, Chicago & London.

Gould S.J. (1977) – *Ever Since Darwin*, Burnett/Deutsch, London (tr. it.: *Questa idea della vita*, Editori Riuniti, Roma 1984).

Gould S.J. (1980) – *Darwin's Deceptive Memories*. New Scientist, 21 february: 577-579.

Gould S.J. (1985) - *Fleeming Jenkin revisited; this obscure, but able, Victorian gentleman convinced Darwin himself on an important evolutionary point*. Natural History, 1 june.

Gould S.J. (1987) – *Time's arrow, time's cycle. Myth and metaphor in the discovery of geological time*. Harvard University Press, Cambridge, (Mass.)

Gruber H.E. (1974) – *Darwin on Man: A Psychological Study of Scientific Creativity*. Wildwood, London.

Herbert S. (1986) – *Darwin geologo*. Le Scienze, 215:88-94.

Himmelfarb G. (1974) – *Darwin and the Darwinian Revolution*. Chatto & Windus, London.

Keith A. (1955) – *Darwin Revalued* (tr. it.: *Darwin*. Feltrinelli, Milano, 1959).

King-Hele D. (1977) – *Doctor of Revolution: the Life and Times of Erasmus Darwin*. Faber & Faber, London.

Ma L. (1997) – *On the Origin of Darwin's ills*. Discover, september, 27.

Mellersh H.E.L. (1968) – *FitzRoy of the Beagle*. Rupert Hart-Davis, London.

Moore J.R. (1979) – *The Post-Darwinian Controversies*. Cambridge University Press, Cambridge.

Moorehead A. (1969) – *Darwin and the Beagle* (tr. it.: *Darwin e la Beagle*. Rizzoli, Milano, 1972).

Petersen W. (1979) – *Malthus*. Harvard University Press, Cambridge (Mass.).

Royer C. (1973) – *Charles Darwin et son temps*. GRECE/Copernic, Paris.

Ruse M. (1979) – *The Darwinian Revolution: Science Red in Tooth and Claw*. University of Chicago Press, Chicago.

Russett C.E. (1976) – *Darwin in America: The Intellectual Response, 1865-1912*. Freeman, San Francisco & Reading.

Schweber S.S. (1977) – *The Origin of the "Origin" Revisited*. Journal of the History of Biology, 10: 229-316.

Shanklin E. (1982) – *Darwin Vs. Religion*. Science Digest, april, 64-69.

Stauffer R.C. (1975) – *Charles Darwin's Natural Selection: Being the Second Part of his Big Species Book Written from 1856 to 1858*. Cambridge University Press, New York & London.

Stevens L.R. (1979) – *Charles Darwin*. Twayne Publishers/G.K. Hall, Boston.

Stone I. (1980) – *The Origin: A Biographical Novel of Charles Darwin* (tr. it.: *L'Origine: Il romanzo di Charles Darwin*. Dall'Oglio, Milano, 1980).

Thompson W.R. (1956) – *Introduction to "The Origin of Species"*. Everyman Library 811, Dent, London.

Wilson L.G. (1972) – *Charles Lyell, The Years to 1841: The Revolution in Geology*. Yale University Press, New Haven.

Winslow J.H. (1971) – *Darwin's Victorian Malady: Evidence for Its Medically Induced Origin*. Memoirs of the American Philosophical Society, 88, 94 pp..

Wrangham R. (1979) – *The Bishop of Oxford: not so soapy*. New Scientist, 9 august: 450-451.

# Stime avanzate di pericolosità sismica nell'Appennino settentrionale

Marcello Viti, Enzo Mantovani, Daniele Babbucci, Caterina Tamburelli, Nicola Cenni, Franca Falciani, Andrea Vannucchi

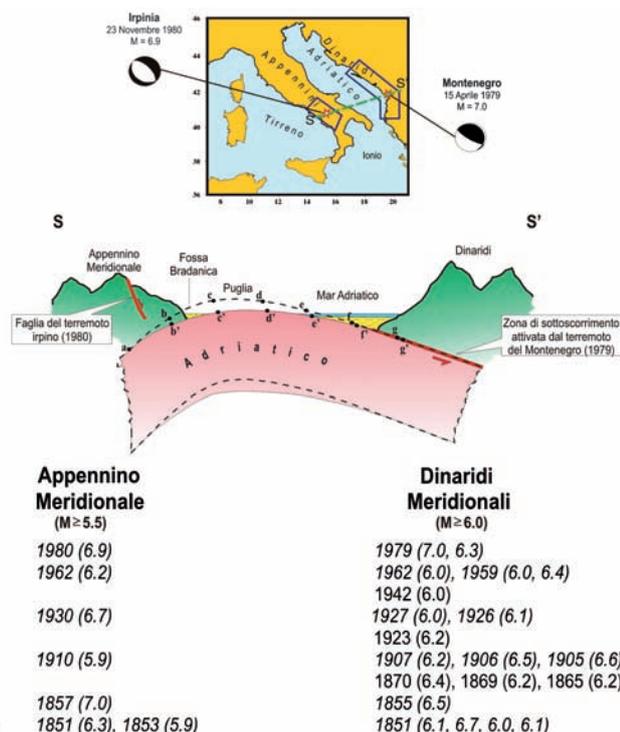
Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena  
vitimar@unisi.it, mantovani@unisi.it, babbucci@unisi.it, tamburelli@unisi.it, falciani3@unisi.it, vannucchi3@unisi.it

È ormai evidente, alla luce delle conoscenze attuali, che prevedere il luogo e il tempo nei quali possano verificarsi eventi sismici è estremamente improbabile. Studi recenti indicano, però, che per alcune zone italiane è possibile riconoscere con congruo anticipo (anni) l'avvicinarsi di periodi di elevata pericolosità sismica. Questa informazione si presta ad essere usata per distribuire in modo più adeguato le risorse destinate alla difesa dai terremoti in Italia. In questo articolo sono descritte le basi concettuali della procedura proposta e le evidenze che ne permettono l'applicazione all'Appennino settentrionale.

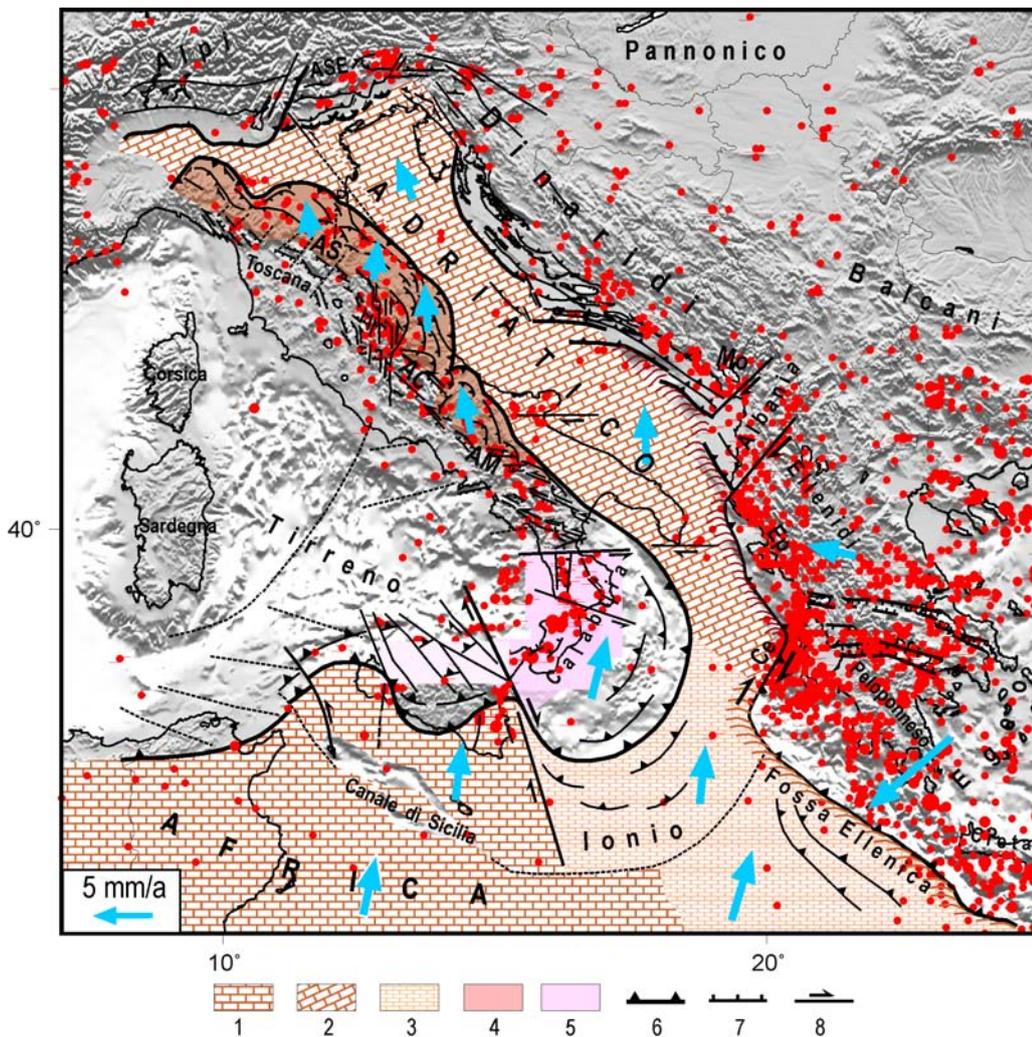
## Basi concettuali

Ogni terremoto forte induce una perturbazione del campo di sforzo e deformazione che si propaga nelle zone circostanti con velocità comprese tra poche decine e oltre cento chilometri all'anno. Questo fenomeno, denominato rilassamento post-sismico e documentato da studi teorici, modellazioni ed osservazioni sperimentali, aumenta la probabilità di scosse nelle zone sismiche circo-

stanti. L'innesco di nuove scosse, però, avviene solo dove e quando la perturbazione prodotta ha ampiezza adeguata e caratteristiche compatibili con la geometria e la natura delle faglie. I possibili effetti di questo fenomeno sono stati riconosciuti in varie zone sismiche del mondo, compresa l'area mediterranea. Nella regione italiana, un esempio molto significativo è fornito dalla connessione tra il terremoto avvenuto nella zona del Montenegro il 15 Aprile 1979 [magnitudo (M)=7.0] e quello dell'Irpinia il 23 Novembre 1980 (magnitudo M=6.9) (Viti *et al.*, 2003; Mantovani *et al.*, 2008a). La prima scossa è associata ad un sottoscorrimento verso NE di circa 1 metro del dominio adriatico sotto la catena dinarica, come schematizzato in figura 1. Si suppone che nel periodo immediatamente successivo a questa scossa la zona



**Fig. 1** - Schema strutturale, lungo una sezione trasversale dell'Adriatico meridionale, che mette in evidenza la flessione della litosfera adriatica sotto la catena dinarica, da una parte, e sotto l'Appennino meridionale, dall'altra. La scala verticale è esagerata per rendere più evidente l'effetto di uno scorrimento sismico della litosfera adriatica (freccia rossa) sotto la catena dinarica. Le lettere sul profilo più elevato indicano le posizioni di alcuni punti prima del terremoto. Le lettere con apice indicano le posizioni degli stessi punti dopo la scossa. Nella mappa sono indicati gli epicentri e i meccanismi focali dei terremoti del 1979 (M = 7.0) in Montenegro e del 1980 (M = 6.9) in Irpinia. La tabella riporta i terremoti forti avvenuti nelle due zone (contornate nella mappa) dal 1850. L'analisi statistica dei terremoti della tabella indica che la probabilità che un forte terremoto nell'Appennino meridionale (M > 5.5) avvenga senza essere preceduto (entro 5 anni) da una scossa intensa (M > 6) nelle Dinaridi meridionali è piuttosto bassa (< 10%).



**Fig. 2** -Assetto tettonico e cinematica dei blocchi nel Mediterraneo centrale, compatibile con il complesso delle deformazioni post-Pleistocene medio (Mantovani *et al.*, 2008c): 1-2) domini continentali africano e adriatico; 3) dominio oceanico ionico; 4) settore esterno della catena appenninica trasportato dalla placca adriatica; 5) Arco Calabro; 6,7,8) principali lineamenti tettonici compressionali, estensionali e trascorrenti. L'insieme delle velocità (freccie blu) indica il quadro cinematico di lungo termine (Pleistocene) rispetto all'Eurasia. I punti rossi indicano gli epicentri dei terremoti nel periodo 1600-2007. AM = Appennino meridionale, AC = Appennino centrale, AS = Appennino settentrionale, ASE = Alpi sudorientali, Ce = Faglia di Cefalonia, Ep = Epiro, Mo = Montenegro.

adriatica adiacente alla sorgente sismica abbia subito un'accelerazione in direzione parallela allo scorrimento sismico. Poi, gradualmente, questa accelerazione (e il relativo aumento della velocità di deformazione) si è propagata nella zona adriatica fino a raggiungere l'Appennino meridionale. Questa propagazione è controllata dal rilassamento dello strato duttile a cui è accoppiata la crosta superiore fragile e quindi la velocità con cui il fenomeno si sviluppa dipende dalle proprietà reologiche di tale sistema strutturale. La quantificazione degli effetti del rilassamento post-sismico indotto dal terremoto del Montenegro (Viti *et al.*, 2003) ha indicato che la massima velocità di deformazione è arrivata nella zona irpina 1-2 anni dopo la scossa suddetta. Siccome la probabilità di terremoti è fortemente influenzata dalla velocità di deformazione, la fase in cui essa cresce notevolmente coincide con la massima probabilità di scosse indotte. I risultati delle simulazioni numeriche indicano che la perturbazione prodotta dal terremoto del Montenegro è stata caratterizzata da un aumento della componente estensionale dello sforzo, orientata in

senso pressoché perpendicolare alle faglie normali dell'Irpinia, cioè la condizione più favorevole per l'innescio di terremoti in quella zona.

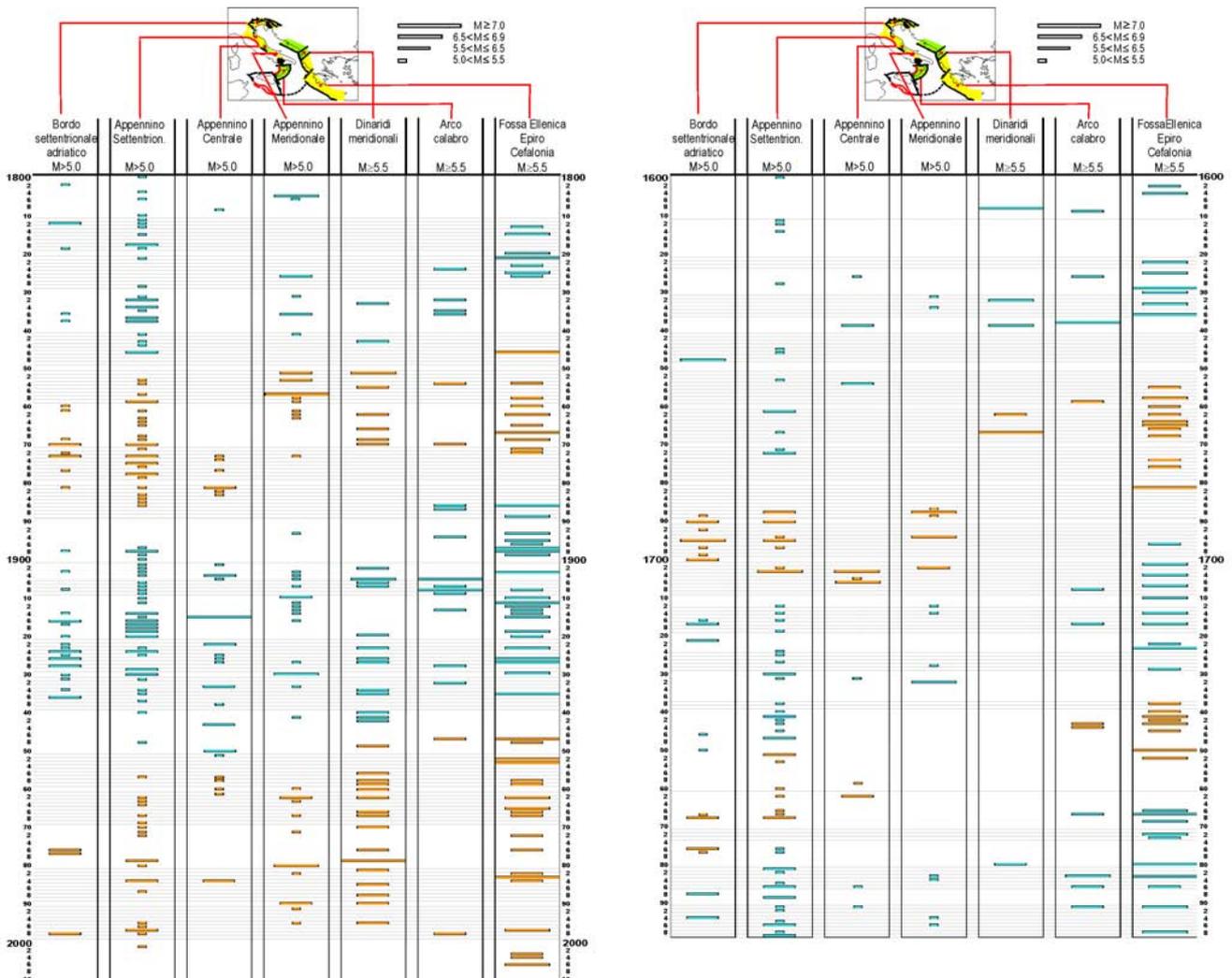
L'ipotesi che ci sia un collegamento tra i terremoti forti delle Dinaridi meridionali e quelli dell'Appennino meridionale, controllato dal fenomeno del rilassamento post-sismico, è notevolmente rafforzata dal fatto che l'esempio sopra citato è stato preceduto da altre corrispondenze temporali analoghe fra terremoti nelle due zone implicate, come indicato nella tabella di figura 1. In particolare, la tabella mostra che negli ultimi due secoli (cioè nella parte più completa ed attendibile del catalogo sismico) tutte le scosse più intense dell'Appennino meridionale sono state precedute di pochi anni da terremoti forti nella zona delle Dinaridi meridionali (Fig. 1). Un'altra importante evidenza dell'esistenza del rilassamento post-sismico nell'area mediterranea centrale è costituita dalla significativa correlazione fra le scosse intense della Calabria e le principali attivazioni sismiche della Fossa Ellenica avvenute dopo il 1600 (Mantovani *et al.*,

2008b). L'analisi statistica delle storie sismiche nelle due zone sopra citate indica che c'è una probabilità piuttosto bassa (circa il 10%) che un forte terremoto ( $M \geq 5.5$ ) avvenga in Calabria senza essere preceduto, entro un periodo inferiore a 10 anni, da una scossa molto intensa ( $M > 6.5$ ) lungo il bordo di subduzione della litosfera africana (Fossa Ellenica).

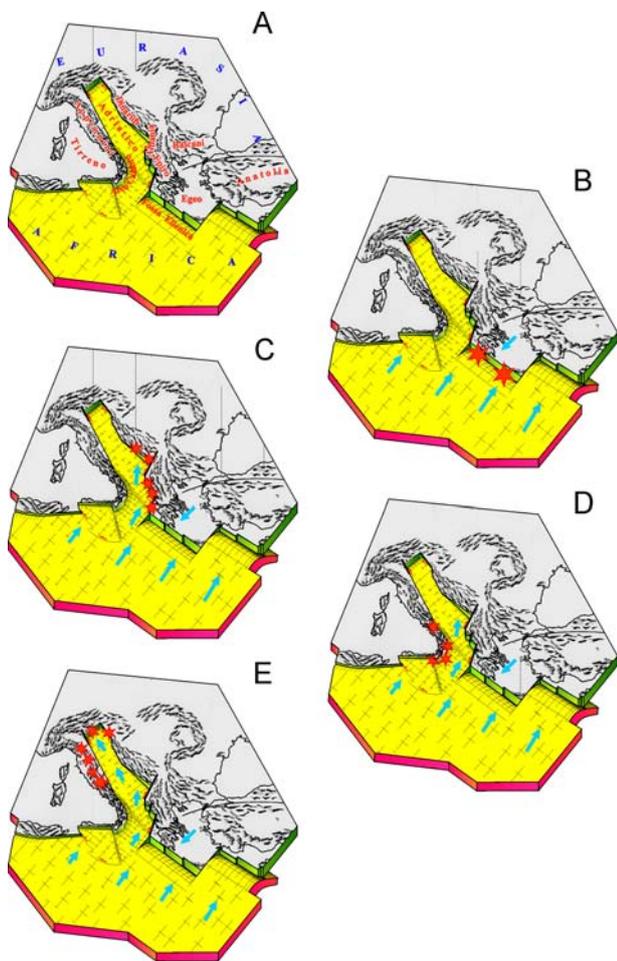
L'influenza del rilassamento post-sismico sulla distribuzione spazio-temporale dei terremoti forti in un quadro più largo, esteso all'intera area mediterranea centrale (Fig.2), è suggerita dall'andamento temporale delle scosse intense avvenute, dopo il 1600, lungo la Fossa Ellenica e nelle zone sismiche periadriatiche. In particolare, la figura 3 mostra che l'attività sismica tende a migrare abbastanza sistematicamente dalla Fossa Ellenica alle zone adriatiche settentrionali (Alpi sud-orientali e Dinaridi settentrionali) attraverso le zone peria-

driatiche interposte, sia italiane che dinariche. Dopo il 1800 si possono riconoscere nell'area quattro sequenze migratorie, con tempi di sviluppo di circa 30-40 anni, intervallate da diminuzioni significative dell'attività sismica. Altre sequenze, anche se meno evidenti, possono essere riconosciute nel periodo precedente il 1800.

Il presunto collegamento tettonico/cinematico tra la distribuzione delle scosse sopra citate e la lenta propagazione delle perturbazioni post-sismiche attraverso il dominio adriatico è schematicamente mostrato in figura 4. Il fatto che gli effetti del rilassamento post-sismico riescano a raggiungere zone distanti anche molte centinaia di chilometri dalle zone di origine della perturbazione (Fossa Ellenica), può essere spiegato se si considera che le scosse indotte durante la migrazione generano altre perturbazioni che si sommano a quelle prodotte dai terremoti precedenti.



**Fig. 3** - Distribuzione temporale dei terremoti più intensi avvenuti lungo la Fossa Ellenica e le zone peri-adriatiche dopo il 1800 (colonne a sinistra) e dal 1600 al 1799 (a destra). Ogni colonna è riferita alla zona indicata nella mappa sovrastante. La larghezza delle barrette è indicativa della magnitudo delle scosse, come indicato nella scala. In ogni colonna le presunte sequenze sismiche sono alternativamente evidenziate in azzurro e nocciola.



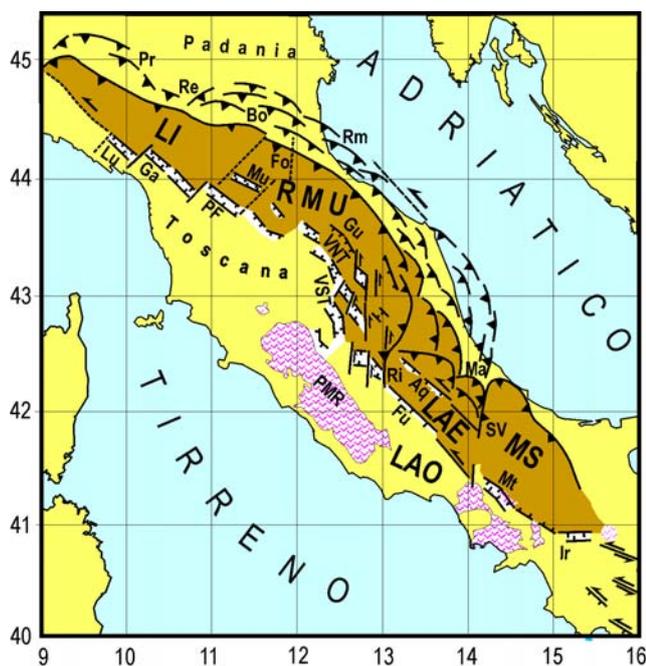
È da notare che i periodi sismici dell'Appennino settentrionale si sono sviluppati prevalentemente durante le sequenze migratorie riconoscibili in figura 3. Questa corrispondenza è quasi regolare negli ultimi due secoli e sembra verificarsi, seppure in modo meno evidente, anche per i due

**Fig. 4** - Schema indicativo delle progressive accelerazioni del dominio Africa-Adriatico innescate da forti terremoti di disaccoppiamento lungo il bordo di subduzione/collisione con il sistema Egeo-Balcanico. Gli asterischi indicano le scosse scatenanti nella Fossa Ellenica e nell'Epiro, nonché le possibili scosse indotte dall'arrivo della perturbazione post-sismica nelle zone peri-adriatiche. A) Schema tettonico semplificato del Mediterraneo centrale; B) Attivazione sismica del sottoscorrimento lungo la Fossa Ellenica; C) Sismicità indotta lungo il bordo di collisione tra Adriatico e sistema Egeo-Balcanico (Epiro, faglia di Cefalonia e Dinaridi meridionali); D) Sismicità indotta nell'Arco Calabro e nell'Appennino meridionale; E) Sismicità indotta nell'Appennino centro-settentrionale e nel bordo adriatico settentrionale (Alpi sud-orientali).

secoli precedenti. Tale evidenza può essere utile per riconoscere l'innescò dei processi che porteranno ad un aumento della probabilità di terremoti forti nell'Appennino settentrionale. L'utilità pratica di questa informazione è però limitata, in quanto permette solo una previsione grossolana sull'intervallo di tempo intercorrente tra la causa scatenante e l'eventuale scossa indotta nell'Appennino settentrionale. Nel prossimo capitolo sono descritte alcune interrelazioni tra sorgenti sismiche nella catena appenninica che permettono previsioni molto più precise, e a più breve termine, sui periodi di massima pericolosità nell'Appennino.

### Processi tettonici e sismicità nella catena appenninica

Le conoscenze attuali sulla geodinamica di quest'area (Mantovani, 2005; Viti *et al.*, 2006; Mantovani *et al.*, 2007, 2008c) suggeriscono che il blocco adriatico, sotto la spinta del sistema anatolico-eggeo-balcanico e del blocco africano, tende a spostarsi approssimativamente verso N/NO trascinando la parte esterna della catena appenninica (zona in colore nella figura 2). La divergenza obliqua tra la parte mobile della catena e la parte interna (grigia) della stessa, ormai quasi completamen-



**Fig. 5** - Schema della parte "mobile" della catena appenninica, con evidenziati i blocchi in cui essa è suddivisa e le principali zone di disaccoppiamento: Molise-Sannio (MS), parte orientale della piattaforma Laziale-Abruzzese (LAE), Unità Romagnole-Marchigiane-Umbre (RMU); Unità Liguridi (LI). Simboli tettonici come in figura 2. Aq = sistema di faglie dell'Aquilano; Bo = Bolognese; Fo = Forlivese; Fu = sistema di faglie del Fucino; Ga = fossa della Garfagnana; Gu = fossa di Gubbio; Ir = Irpinia; LAE = settore orientale della piattaforma Laziale-Abruzzese; LAO = settore occidentale della piattaforma Laziale-Abruzzese; Lu = fossa della Lunigiana; Ma = Maiella; Mt = Matese; Mu = fossa del Mugello; PF = fossa di Pistoia-Firenze; PMR = Provincia Magmatica Romana; Pr = Parmense; Re = Reggiano; Ri = fossa di Rieti; Rm = Riminese; SV = sistema transpressivo Sangro-Volturno; VNT, VST = fosse della Val Tiberina settentrionale e meridionale.

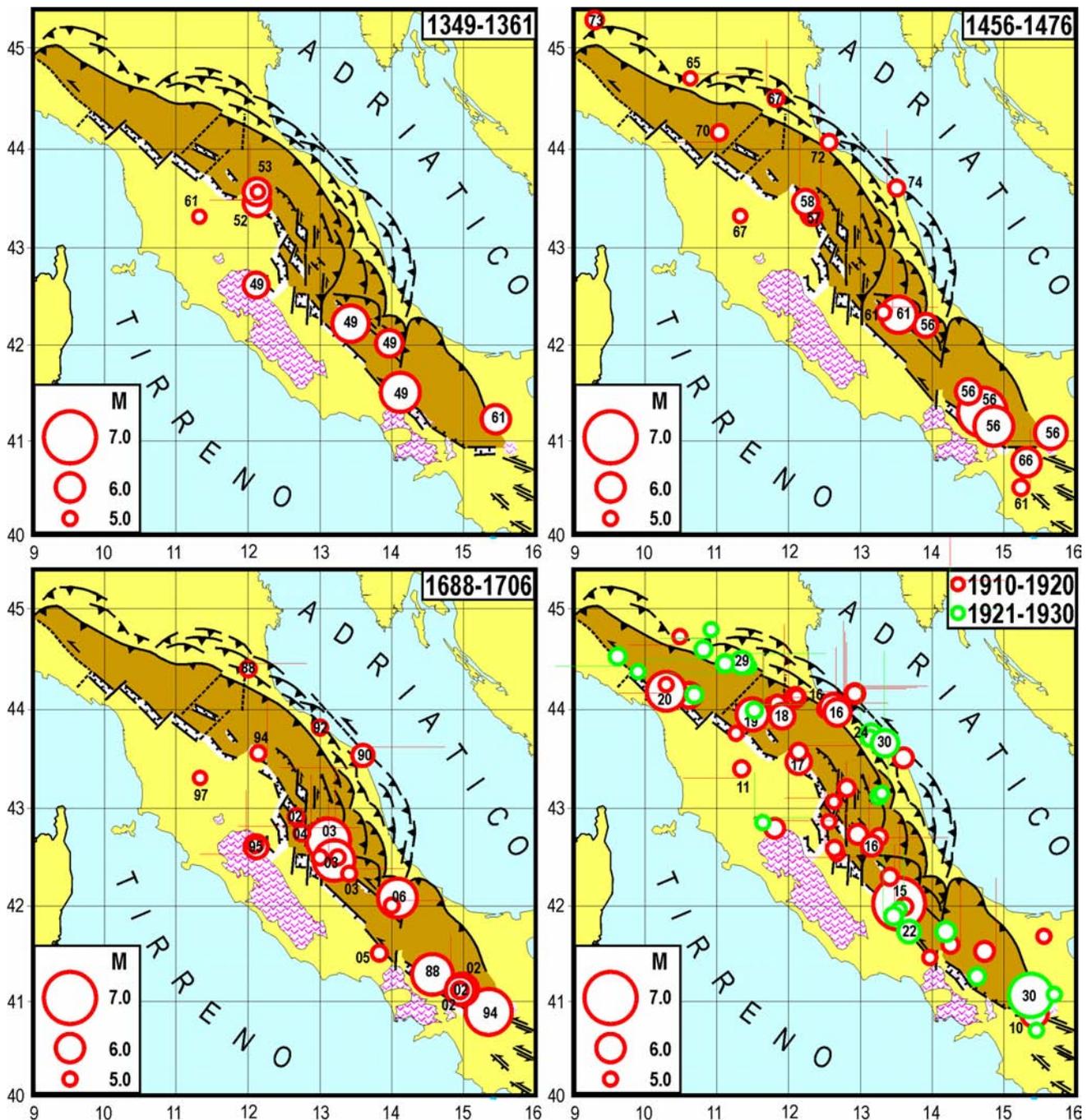


Fig. 6 - Distribuzione dei principali terremoti ( $M \geq 5$ ) nella zona appenninica durante le quattro fortissime crisi sismiche discusse nel testo. I numeri dentro o vicino ai cerchi indicano l'anno del terremoto. L'intervallo di tempo delle crisi è riportato in alto a destra sul quadro corrispondente. Schema tettonico e simboli come in figura 5.

te immobile, ha provocato deformazioni distensive e transtensive sinistre nella parte assiale dell'Appennino, con la formazione di faglie normali e fosse tettoniche dalla zona irpina all'Appennino settentrionale, associate alla sismicità più intensa (Viti *et al.*, 2006; Mantovani *et al.*, 2008a,c).

La figura 5 mostra uno schema dettagliato dei quattro settori principali in cui è divisa la parte mobile della catena e delle zone tettoniche che disaccoppiano tali settori dalle strutture appenniniche circostanti. Il settore che è direttamente trasportato

dalla placca adriatica è il Molise-Sannio. La zona dove questo blocco si separa dalla catena interna corrisponde alle zone sismiche dell'Irpinia e del Matese, dove sono riconosciute faglie normali prevalentemente orientate da NO-SE ad Ovest-Est. Il blocco Molise-Sannio trasmette la spinta dell'Adriatico alla parte orientale della piattaforma Laziale-Abruzzese (LA). Questo meccanismo ha prodotto lo scorrimento sinistro di tale settore rispetto alla parte occidentale della stessa piattaforma, che si è sviluppato lungo due sistemi di

faglie transtensive parallele alla catena, uno localizzato nell'Aquilano e l'altro nella zona del Fucino. La trasmissione della spinta tra il blocco Molise-Sannio e la parte orientale della piattaforma LA è accompagnata da deformazioni compressive e sollevamenti nella fascia tettonica Sangro-Volturno e presso l'adiacente massiccio della Maiella (Viti *et al.*, 2006; Mantovani *et al.*, 2008a,c). La parte orientale della piattaforma LA ha compresso il settore esterno dell'Appennino settentrionale, principalmente costituito dalle Unità Romagnole-Marchigiane-Umbre (RMU), causando la sua separazione dalla catena interna (Toscana centro-meridionale e Lazio). Questa divergenza è stata assorbita da tettonica transtensionale, che causato il progressivo allargamento delle fosse della Val Tiberina, dell'Alto Valdarno e del Mugello e l'intensa attività vulcanica nell'adiacente zona toscolaziale, con la formazione della Provincia Magmatica Romana (Fig. 5). Le unità RMU hanno poi trasmesso la spinta alle unità Liguridi, causando il loro allontanamento dalla Toscana settentrionale e la conseguente estensione delle fosse tettoniche di Pistoia-Firenze, della Garfagnana e della Lunigiana (Fig. 5), che sono sede di terremoti di media intensità. La sismicità che caratterizza l'Appennino forlivese è connessa con un meccanismo di svincolo transpressivo tra le Unità RMU e le Liguridi, indotto dalla spinta dell'indentatore Laziale-Abruzzese (Mantovani *et al.*, 2008a).

Lo schema interpretativo sopra descritto può spiegare la distribuzione spazio-temporale delle scosse durante alcune sequenze sismiche estremamente violente avvenute nella catena appenninica durante i secoli precedenti (Fig. 6).

La prima sequenza (Fig. 6a) ha avuto inizio nell'Appennino meridionale con il forte terremoto del 1349 nella zona del Matese (M=6.6). L'elevata intensità e l'ampiezza della zona di risentimento fanno pensare che questa scossa abbia attivato una parte consistente del bordo di svincolo distensivo tra il blocco Molise-Sannio e la catena interna. È ragionevole supporre che tale svincolo abbia favorito l'accelerazione del blocco Molise-Sannio, accentuando la sua spinta sul settore orientale della piattaforma LA e aumentando quindi gli sforzi nella zona di disaccoppiamento tra tale settore e la parte interna della stessa piattaforma. Questo ha creato le condizioni favorevoli per il forte terremoto avvenuto nella zona dell'Aquila nel 1349 (M=6.5). Dopo tale disaccoppiamento sismico, e la conseguente accelerazione della parte

orientale della piattaforma LA, la sollecitazione sulla parte sudorientale delle Unità RMU si è accentuata, come indicato dalle scosse che hanno colpito quella zona negli anni successivi (Monterchi, 1352, M=6; Sansepolcro, 1358, M=5; Siena, 1361, M=5).

La seconda sequenza si è sviluppata dal 1456, quando due scosse violentissime (M=6.6 e 7) si sono verificate lungo il bordo interno del blocco Molise-Sannio (Fig. 6b). Questa serie di scosse ha favorito lo svincolo del blocco Molise-Sannio, che ha accentuato la sollecitazione sulla piattaforma LA, dove terremoti forti si sono infatti verificati nell'anno stesso e nel 1461 lungo il sistema di faglie dell'Aquilano (M=6.5). Anche in questo caso la sismicità nella zona umbra e toscana si è accentuata negli anni successivi (Sansepolcro, 1456, M=5; Città di Castello, 1458, M=6; Siena, 1456, M=5).

La terza sequenza (Fig. 6c) si è sviluppata in modo più graduale rispetto alle precedenti. Lo svincolo del blocco Molise-Sannio dalla parte interna della catena ha richiesto tre scosse forti, avvenute nel 1688 (M=6.7), 1694 (M=6.9) e 1702 (M=6.3) in differenti settori del bordo di separazione. La conseguente accelerazione del blocco Molise-Sannio ha accentuato la sollecitazione sulla piattaforma LA, provocando la forte scossa (M=6.7) che nel 1703 è avvenuta nella zona dell'Aquila. Nello stesso anno il margine distensivo interno delle Unità RMU è stato colpito da un terremoto molto intenso (Appennino reatino, M=6.8). Durante questa sequenza, l'interazione compressiva tra il blocco Molise-Sannio e la piattaforma LA è stata accompagnata da un forte terremoto nella zona della Maiella (1706, M=6.6).

La quarta sequenza (Fig. 6d) è iniziata con alcuni terremoti di media intensità nell'Appennino meridionale (1910, M=5.9; 1913, M=5.4; 1914, M=5.2) e si è poi sviluppata con il forte terremoto di Avezzano (M=6.9) nella zona del Fucino (Avezzano), all'interno della piattaforma LA. Questa scossa è stata seguita, nel periodo 1916-1920, da un notevole aumento di sismicità nell'Appennino settentrionale, caratterizzato da sei scosse di magnitudo superiore a 5.5 distribuite su quasi tutte le principali zone sismiche di questa zona (Riminese, 1916, M=5.8 e 5.9; Val Tiberina settentrionale, 1917, M=5.7; Forlivese, 1918, M=5.7; Mugello, 1919, M=6.2; Garfagnana, 1920, M=6.5). Nel periodo successivo (1920-1930) altre scosse di media intensità sono avvenute lungo il bordo

esterno delle Unità RMU e Liguridi (Senigallia, 1924  $M=5.6$ ; Bolognese, 1929  $M=5.6$ ; Senigallia, 1930  $M=5.9$ ). La peculiarità dell'attività sismica dell'Appennino settentrionale nel periodo 1916-1920 è sottolineata dal fatto che una tale concentrazione di scosse non si è mai verificata nei periodi precedente e seguente. La differenza di questa risposta rispetto ai casi precedenti (Fig. 6) è attribuita al fatto che in quest'ultimo caso il disaccoppiamento nella piattaforma LA è avvenuto nella zona del Fucino, invece che nella zona dell'Aquila. Questo, infatti, ha comportato lo sblocco e la conseguente mobilitazione di un settore più vasto della piattaforma LA, che ha significativamente allargato la zona di spinta sull'Appennino settentrionale. Sotto tale sollecitazione, tutte le unità dell'Appennino settentrionale (RMU e Liguridi) sono state mobilitate, come suggerito dal fatto che nel periodo 1916-1920 le scosse hanno interessato il bordo esterno (Riminese, 1916) e quello interno (Val Tiberina settentrionale, 1917, Mugello, 1919 e Garfagnana, 1920) delle stesse unità, nonché la loro presunta zona di disaccoppiamento (Forlivese, 1918).

L'interpretazione sopra descritta è consistente con il fatto che il tempo di ritardo delle scosse indotte aumenta con la distanza dall'epicentro della scossa di Avezzano. La quantificazione degli effetti del rilassamento post sismico prodotto dal terremoto di Avezzano consente di spiegare l'entità dei ritardi osservati per le varie scosse indotte (De Luca, 2007; Cenni *et al.*, 2008).

### **Possibili strumenti di previsione a lungo termine della futura attività sismica nell'Appennino settentrionale**

Quanto evidenziato nei paragrafi precedenti suggerisce che i terremoti forti dell'Appennino non debbono essere considerati fenomeni casuali; essi, infatti, sono strettamente legati alla lenta migrazione delle perturbazioni generate dalle principali scosse di disaccoppiamento che avvengono lungo la zona di subduzione ellenica e le zone periadriatiche. Questo delinea la possibilità di riconoscere quando un significativo aumento di pericolosità sismica interessa l'Appennino settentrionale. A tale scopo è utile mettere a fuoco quali possibilità pratiche esistano in questa direzione, quali siano le principali incertezze associate e in che modo tali informazioni possano essere usate

per rendere più efficiente la difesa dai terremoti nell'Appennino settentrionale.

La distribuzione spazio-temporale delle scosse forti nell'area mediterranea centrale (Fig.3) suggerisce che le fasi sismiche nell'Appennino settentrionale sono inserite nelle sequenze migratorie innescate da fortissimi terremoti nel principale bordo di interazione tra il blocco Africa-Adriatico ed il sistema Egeo-Balcanico (Fossa Ellenica ed Epiro). Quindi, il primo segnale che un periodo di accentuata pericolosità interesserà l'Appennino settentrionale è dato dal verificarsi di forti terremoti nella Fossa Ellenica e nella Grecia nord-occidentale (zone Cefalonia ed Epiro). Per esempio, dalle sequenze migratorie più recenti (dopo il 1800) si deduce che tra l'inizio di una fase sismica intensa nella Fossa Ellenica e il verificarsi di un terremoto pericoloso ( $M>5.5$ ) nell'Appennino settentrionale può passare un periodo circa compreso tra 15 e 30 anni.

L'incremento della probabilità di terremoti nell'Appennino settentrionale può essere riconosciuto in modo più preciso considerando la sismicità dell'Appennino meridionale, in particolare nelle zone di svincolo del blocco Molise-Sannio. Nei casi mostrati in figura 6, il periodo che separa un'intensa fase sismica nell'Appennino meridionale (1349, 1456, 1688-1694-1702 e 1910) e il primo forte terremoto nell'Appennino settentrionale (1353, 1458, 1703 e 1916) va da 2 a più di 5 anni.

Il segnale precursore più prossimo all'aumento della pericolosità sismica nell'Appennino settentrionale è costituito dai terremoti forti nelle due zone di svincolo (Aquila e Fucino) situate nella piattaforma LA. Inoltre, sapendo quale di queste due zone si è attivata è possibile prevedere se l'aumento di attività sismica sarà limitato alle zone che bordano le unità RMU (in particolare la Val Tiberina), come è avvenuto nei tre casi riportati nelle mappe 6a, 6b e 6c, oppure interesserà anche le zone più settentrionali (per esempio Riminese, Forlivese, Mugello, Pistoia-Firenze, Garfagnana, Lunigiana), come è avvenuto nel periodo 1916-1920, e anche il bordo esterno (padano) della catena, come è avvenuto negli anni successivi al 1920 (Fig. 6d).

Le sequenze di terremoti molto intensi mostrate in figura 6 forniscono informazioni importanti sul comportamento dell'Appennino settentrionale durante i periodi di maggiore rilascio di energia sismica, ma è opportuno considerare che alcuni

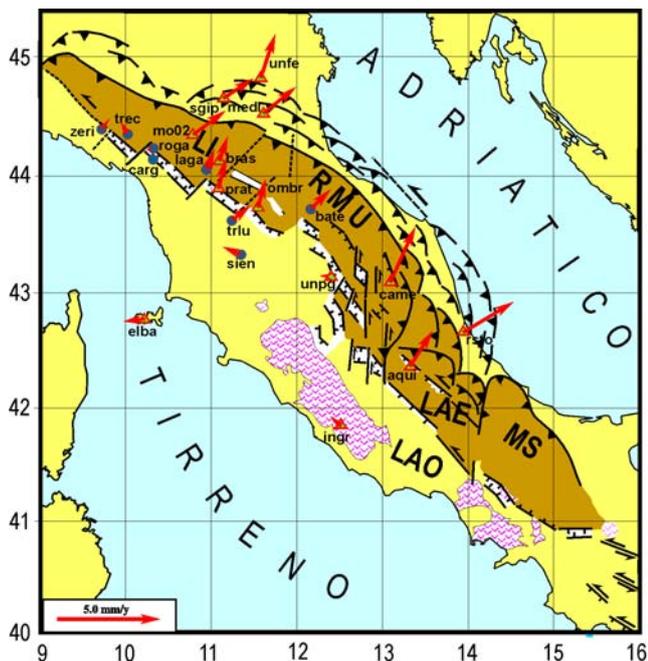


Fig. 7 - Rete delle stazioni GPS permanenti dell'Appennino centro-settentrionale. I cerchi indicano le 8 stazioni installate con il supporto finanziario della Regione Toscana e gestite dalle Università di Siena e Bologna. I triangoli identificano le stazioni gestite da altri Enti. Le frecce indicano i vettori velocità delle stazioni, calcolati, rispetto ad un riferimento eurasiatico, sulla base delle misure effettuate nel periodo 2002-2008. Simboli tettonici come in figura 5.

(rari) terremoti intensi in tale zona sono avvenuti al di fuori delle sequenze principali. Per esempio, nel periodo 1831-1837 le zone sismiche localizzate lungo i bordi esterno (Appennino parmense-reggiano) ed interno (Lunigiana-Garfagnana) delle Unità Liguridi sono state colpite da scosse di media intensità, non precedute da precursori significativi nell'Appennino centrale. Per casi come questo può essere utile considerare la distribuzione di sismicità a più larga scala, riportata in figura 3. Per esempio, il fatto che l'attività sismica dell'Appennino settentrionale ha regolarmente subito incrementi significativi durante tutte le sequenze migratorie suggerisce che, anche quando non si verificano forti scosse premonitrici nell'Appennino meridionale e centrale, il passaggio di una generale perturbazione peri-adriatica può produrre effetti sismogenetici nell'Appennino settentrionale. Infatti, è evidente l'appartenenza della crisi sismica sopra citata alla sequenza migratoria innescata da terremoti forti nella Fossa Ellenica attorno al 1810. Una considerazione analoga può essere fatta per il periodo 1780-1789, in cui la sismicità lungo i bordi delle Unità RMU ha subito un significativo incremento, senza forti terremoti precursori nell'Appennino centrale. Anche in questo

caso, si sarebbe potuto prevedere un incremento della pericolosità sismica nell'Appennino settentrionale dal fatto che una sequenza migratoria era stata innescata nella Fossa Ellenica attorno al 1765.

Una considerazione a parte merita la distribuzione di terremoti nelle ultime decadi, sia perché in tale periodo le informazioni sulla sismicità sono molto più complete, sia perché sono avvenute due scosse forti nell'Appennino meridionale (Irpinia, 1962,  $M=6.2$  e 1980,  $M=6.9$ ). L'analisi di ciò che è successo dopo tali scosse fornisce importanti indicazioni sulla reazione sismica dell'Appennino centro-settentrionale a terremoti isolati dell'Appennino meridionale, tenendo conto che tali scosse (comunque non fortissime) innescano perturbazioni meno intense rispetto ai casi illustrati in figura 6. Per esempio, la scossa del 1962 è stata seguita da terremoti nell'Appennino centrale (Preci, 1964,  $M=5.4$ ), nel Forlivese (1967,  $M=5.3$ ), nel Parmense (1971,  $M=5.6$ ) e nell'Anconetano (1972,  $M=5.4$  e  $M=5.4$ ). Il terremoto del 1980 è stato seguito da terremoti nel Parmense (1983,  $M=5.1$ ), in Abruzzo meridionale (1984,  $M=5.8$ ), in Umbria (Gubbio 1984,  $M=5.3$ ) e nelle Marche (Porto San Giorgio, 1987,  $M=5.1$ ). Una ripresa dell'attività sismica, anche se più moderata, si è verificata nell'Appennino meridionale attorno al 1990-93. Questo potrebbe indicare che gli effetti dell'ultima sequenza sismica non si sono ancora esauriti nella catena appenninica, come anche suggerito dalle scosse avvenute nel 1997 nell'Appennino umbro-marchigiano. Si potrebbe anche notare che le due principali zone di disaccoppiamento nell'Appennino centrale (Aquila e Fucino) non hanno subito scosse rilevanti da lungo tempo. Per il sistema di faglie del Fucino l'ultimo terremoto fortissimo risale al 1915 (Avezzano), mentre per il sistema dell'Aquila si deve addirittura risalire al 1703.

Per quanto riguarda la zona del Senese, soggetta ad una sismicità meno intensa di quella delle fosse tettoniche nella parte assiale della catena, si può notare che le scosse più importanti avvenute dopo il 1600 (1697,  $M=5$ ; 1741,  $M=5.2$ ; 1798,  $M=5.2$ ; 1804,  $M=5.2$ ; 1869,  $M=5.2$ ; 1871,  $M=5.2$ ; 1907,  $M=5.2$ ; 1909,  $M=5.4$ ; 1911,  $M=5.1$ ) sono tutte inserite nelle sequenze migratorie mostrate in figura 3, e che due delle tre scosse avvenute in epoca precedente (1320,  $M=5.2$ ; 1361,  $M=5$ ; 1467,  $M=5$ ) si sono verificate durante le sequenze mostrate in figura 6.

L'approccio deterministico illustrato in questo articolo per il riconoscimento delle zone sismiche più esposte nel prossimo futuro, essendo basato su un fenomeno fisico largamente conosciuto come il rilassamento post-sismico, può essere notevolmente coadiuvato da osservazioni sperimentali di tipo geodetico e geofisico, in quanto da tali misure ci si aspetta di ricostruire lo sviluppo delle perturbazioni attese dei campi di velocità e di deformazione. In particolare, la simulazione numerica del rilassamento post-sismico indotto da terremoti peri-adriatici (Viti *et al.*, 2003; Cenni *et al.*, 2008) ha dimostrato che le variazioni di velocità attese sono largamente superiori al potere risolutivo delle misure geodetiche. Inoltre, il fatto che le stazioni delle reti geodetiche installate nel territorio italiano acquisiscono i dati in modo continuo consentirà di rilevare tempestivamente le variazioni della velocità e della deformazione indotte dalla progressiva propagazione del rilassamento post-sismico. Nel caso in cui un terremoto forte si verificasse nuovamente nella piattaforma LA sarà possibile riconoscere la progressiva migrazione della perturbazione innescata e prevedere quando le variazioni più intense della velocità di deformazione interesseranno le zone sismiche più esposte dell'Appennino settentrionale.

La figura 7 illustra la rete geodetica permanente attualmente disponibile nell'Appennino centro-settentrionale. Per dare un'idea del tipo di informazione che tale rete può fornire, la figura riporta per ogni stazione il vettore velocità medio nel periodo di osservazione (3-5 anni, Cenni *et al.*, 2008). Si può notare che le velocità nella parte esterna dell'Appennino settentrionale sono sistematicamente più elevate di quelle della Toscana interna, come previsto dal modello cinematico di lungo termine mostrato in figura 2. E' opportuno sottolineare che la conoscenza del campo attuale di velocità (Fig.7), evidentemente relativo ad una fase di scarsi effetti post-sismici, costituisce un prezioso riferimento per la valutazione delle variazioni della velocità prodotte da future scosse forti di disaccoppiamento nell'Appennino centro-settentrionale.

Queste informazioni sono state acquisite grazie al contributo finanziario della Regione Toscana (Servizio Sismico) che ha permesso un significativo infittimento della rete geodetica (aggiunta di 8 stazioni permanenti GPS) in una zona meno coperta dalla strumentazione attualmente disponibile. Supporto finanziario alla presente ricerca è stato fornito anche dall'Agenzia Spaziale Italiana e dall'Università di Siena.

## Testi citati

Cenni N., Viti M., Baldi P., Mantovani E., Ferrini M., D'Intinosante V., Babbucci D. & Albarello D. (2008) - *Short-term (geodetic) and long-term (geological) velocity fields in the Northern Apennines*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 127: 93-104.

De Luca J. (2007) - *Indagine sul ruolo del rilassamento post-sismico nell'Appennino centro-settentrionale*. Tesi di Dottorato, XIX Ciclo di Dottorato di Ricerca, Università degli Studi di Siena, 88 pagg.

Mantovani E. (2005) - *Evolutionary reconstruction of the Mediterranean region: extrusion tectonics driven by plate convergence*. In "CROP, Deep seismic exploration of the Mediterranean region". I.R.Finetti (Ed.), Elsevier, Amsterdam, 32: 705-746.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D. & Albarello D. (2007) - *Nubia-Eurasia kinematics: an alternative interpretation from Mediterranean and North Atlantic evidence*. Annals of Geophysics (Annali di Geofisica), 50: 311-336.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Albarello D., Cenni N. & Vannucchi A. (2008a) - *Long-term earthquake triggering in the Southern and Northern Apennines*. Journal of Seismology.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D. & Vannucchi A. (2008b) - *Long term prediction of major earthquakes in the Calabrian Arc*. Environmental Semeiotics, 1(2): 190-202.

Mantovani E., Babbucci D., Tamburelli C. & Viti M. (2008c) - *A review on the driving mechanism of the Tyrrhenian-Apennines system: Implications for the present seismotectonic setting in the Central-Northern Apennines*. Tectonophysics.

Viti M., D'Onza F., Mantovani E., Albarello D. & Cenni N. (2003) - *Post-seismic relaxation and earthquake triggering in the southern Adriatic region*. Geophysical Journal International, 153: 645-657.

Viti M., Mantovani E., Babbucci D. & Tamburelli C. (2006) - *Quaternary geodynamic evolution and deformation pattern in the Southern Apennines: implications for seismic activity*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 125: 273-291.

# Le oscillazioni climatiche del Quaternario, con un modello concettuale dei fattori determinanti

Roberto Mazzei\*, Marco Pozzi\*\*

\* Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena, mazzeir@unisi.it

\*\* Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra, Via La Pira 4 – 50121 Firenze marco\_pozzi3@alice.it

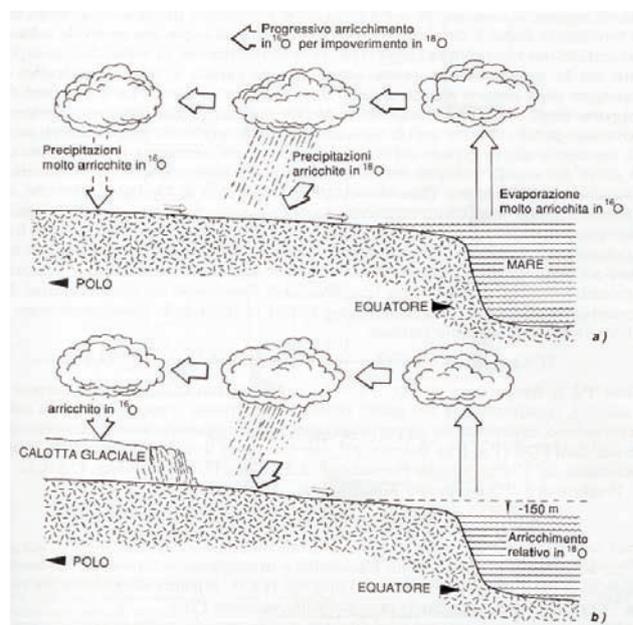
*Alla biosfera appartengono organismi di dimensioni così minute da non essere visibili ad occhio nudo. Questo mondo dell'invisibile nasconde aspetti poco conosciuti ma talmente importanti per lo sviluppo della vita sul nostro pianeta da diventare una nuova affascinante frontiera.*

## Introduzione

Le oscillazioni climatiche che si sono succedute durante il Quaternario sono state negli ultimi anni oggetto di numerosi ed approfonditi studi. L'ampiezza di tali fenomeni ha stimolato i ricercatori di tutto il mondo verso la definizione degli eventi climatici e delle relazioni causa-effetto ad essi connessi, sia a livello globale che locale.

Tra le linee di ricerca portate avanti in questo senso meritano particolare attenzione, per la loro potenzialità di indagine, quelle basate sulla Geochimica isotopica e sulla Paleontologia. A dire il vero, l'alternanza delle fasi glaciali e interglaciali, che hanno caratterizzato in modo marcato il Pleistocene prima e l'Olocene poi, ha ricevuto un'ottima caratterizzazione solo dal momento in cui la Chimica degli isotopi stabili (Carbonio e soprattutto Ossigeno) ha preso campo nelle indagini scientifiche paleoclimatiche (Emiliani, 1955-1966; Shackleton & Opdyke, 1973). Grazie alle variazioni del rapporto fra i due isotopi dell'Ossigeno  $^{18}\text{O}$  e  $^{16}\text{O}$  (Fig. 1) si è potuto infatti operare un controllo sull'andamento della temperatura delle acque negli oceani, laddove questo rapporto veniva fissato dal processo di calcificazione di alcuni microorganismi. Il segnale isotopico si è dimostrato assai preciso, ma soprattutto globalmente omogeneo, tanto da ritenerlo del tutto idoneo per correlazioni ad ampio raggio. Questo tipo di indagine, pur presentando alcuni limiti (ad esempio, l'interferenza di segnali locali e la sovrapposizione di caratteri propri del microorganismo o "effetto vitale"), è da considerarsi oggi

decisamente attendibile e fondamentale per registrare le variazioni "caldo/freddo" non solo del Quaternario ma almeno degli ultimi 6 milioni di anni. Relativamente alla Paleontologia, si ricorda che da sempre i fossili (animali e vegetali) hanno rappresentato, attraverso il principio dell'Attualismo ed i criteri di Affinità sistematica e morfologica, una chiave di lettura per il clima del passato, anche se prevalentemente di tipo qualitativo e non continua nel tempo. In tempi più recenti, però,



**Fig. 1** - L'acqua con l'isotopo leggero  $^{16}\text{O}$  evapora preferenzialmente, per cui il mare viene indirettamente ad arricchirsi in  $^{18}\text{O}$ . Procedendo verso l'interno dei continenti, le nubi si impoveriscono ulteriormente di  $^{18}\text{O}$ . Durante gli episodi interglaciali (a) l'acqua legata alle precipitazioni che torna al mare è arricchita in  $^{16}\text{O}$ ; durante gli episodi glaciali (b) l'acqua arricchita in  $^{16}\text{O}$  va a costituire le calotte glaciali e, di conseguenza, gli oceani si arricchiscono in  $^{18}\text{O}$  (da Raffi & Serpagli, 1993).

sono stati i microfossili ed i nannofossili a rivelarsi puntuali e precisi strumenti per la identificazione dei cicli glaciale/interglaciale. Il successo di questi resti di organismi microscopici (i nannofossili, ad esempio, sono talmente piccoli da essere invisibili ad occhio nudo) in campo paleoclimatico è legato anche al proliferare di ricerche finalizzate a stabilire, per i loro rappresentanti attuali (Foraminiferi planctonici, Coccolitoforidi, Diatomee, Silicoflagellati), le distribuzioni latitudinale, batimetrica e stagionale, nonché l'intervallo di temperatura in cui vivono e l'optimum termico in cui si sviluppano maggiormente (si vedano, ad esempio, le ricerche relative al nannoplancton calcareo di: McIntyre & Bé, 1967; McIntyre *et al.*, 1970; Roth & Berger, 1975). Oltre che per fornire gli elementi di supporto alle analisi isotopiche, i micro-nannofossili sono impiegati quindi per conseguire una documentazione accurata delle variazioni climatiche del passato, addirittura di intervalli di tempo ben più antichi del Quaternario. Questa documentazione è evidenziata attraverso la costruzione di curve, le quali sono in genere ottenute tramite analisi quali-quantitative di forme fossili con rappresentanti attuali considerati "indicatori caldi" o "indicatori freddi" (in quanto viventi negli strati marini superficiali caratterizzati da temperature rispettivamente alte o basse).

Restando nel mondo del nannoplancton calcareo (Coccolitoforidi), si fa notare che la ricerca di laboratorio sulle proprietà biologiche del gruppo ha permesso di valutare sia l'entità di alcuni aspetti biochimici, sia l'interazione dello stesso gruppo con l'ambiente circostante. Ed è proprio per le caratteristiche ambientali e per lo sviluppo biologico legato alle "fioriture" che il nannoplancton calcareo è utilizzato sempre più in ambito climatico, non solo come ottimo registratore del segnale di variazione, ma anche come concausa attiva dei mutamenti.

Prima di concludere questa introduzione alle problematiche climatiche, merita ricordare che negli ultimi anni numerosi studiosi hanno accentrato la loro ricerca nel campo della modellizzazione dei dati (anche a seguito del progresso tecnologico che ha aumentato la potenza degli elaboratori elettronici), al fine di ricostruire modelli climatici in grado di coniugare il passato con il futuro.

## Qual'è la causa delle variazioni climatiche?

La causa più nota e dibattuta delle oscillazioni climatiche quaternarie è senz'altro quella astronomica. Le proprietà dei moti della Terra (eccentricità, obliquità e precessione) con la loro regolarità caratterizzano l'irraggiamento solare e di conseguenza il clima terrestre e i caratteri oceanografici. Le ciclicità di 100.000, 41.000 e 23.000 anni, con le loro combinazioni, sembrano dominare le modificazioni climatiche (Fig. 2). Le cosiddette "teorie astronomiche" si fondano sostanzialmente sulle ricerche di James Croll (1867a, b) prima e di Milutin Milankovitch (1941) poi. Tali studiosi presero in considerazione i moti terrestri millenari e operarono una correlazione fra questi e le variazioni climatiche quaternarie. Milankovitch, in particolare, pose l'attenzione sugli effetti dell'irraggiamento nell'emisfero nord (65° di latitudine) e nella stagione estiva per gli ultimi 600.000 anni (Fig. 3); egli giunse a sostenere che gli effetti glaciali dovevano, per la maggior parte, essere connessi con una ridotta fusione estiva dei ghiacci piuttosto che con un sensibile raffreddamento medio annuo.

Molti ricercatori si sono posti a lungo il quesito dell'applicabilità o meno dei cicli di Milankovitch a periodi geologici più antichi del Quaternario. Oggi risulta evidente che le difficoltà di applicazione del modello astronomico sono da legarsi non tanto all'alterazione dei segnali paleontologici e geologici ad opera del tempo, quanto alle forti modificazioni su scala planetaria che prima del Quaternario hanno riguardato la circolazione oceanica, la disposizione delle terre emerse, la conformazione di queste ultime, ecc. Sarebbe interessante e di attualità riuscire a capire quanto le

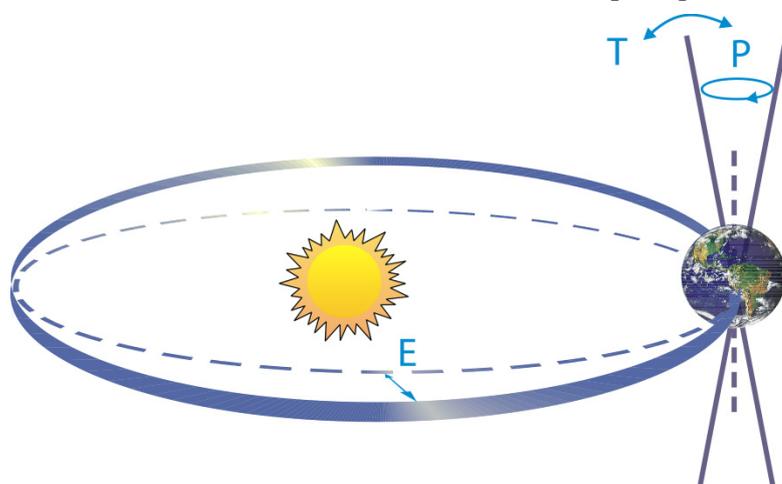
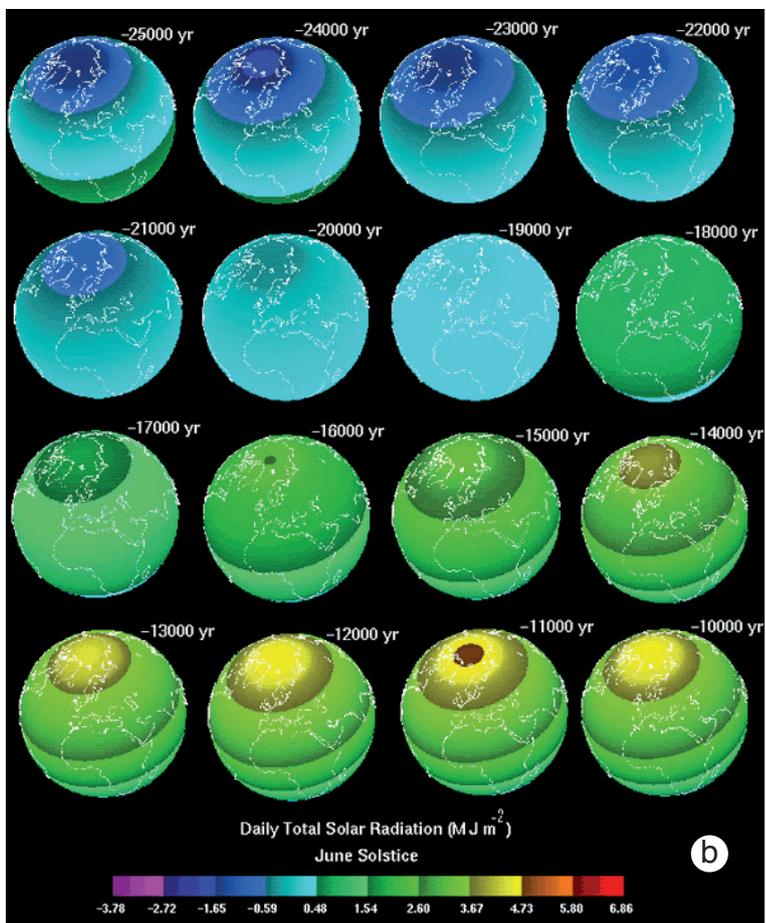
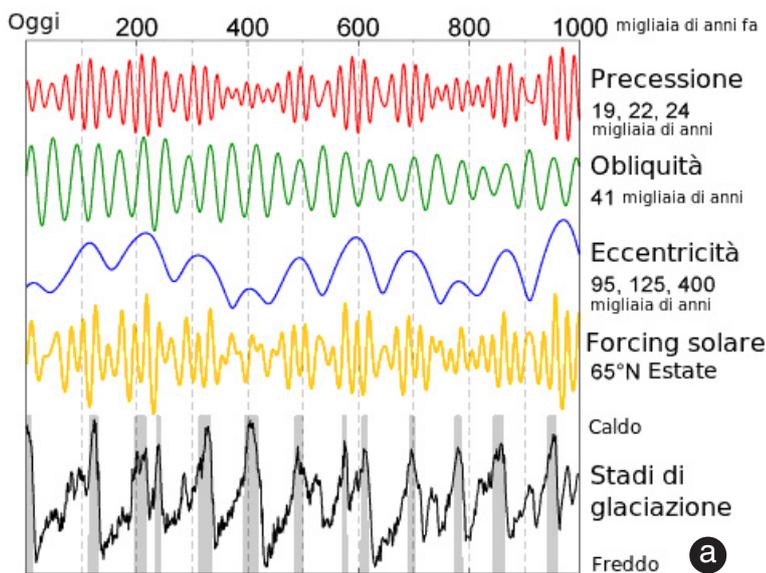


Fig. 2 - Schema delle variazioni orbitali della Terra che guidano i cicli di Milankovitch (T: obliquità, E: eccentricità, P: precessione).



**Fig. 3** - (a) Relazione tra i parametri orbitali della Terra e gli stadi glaciali dell'ultimo milione di anni; (b) variazione della radiazione solare totale giornaliera nel solstizio d'estate durante gli ultimi 25.000 anni.

variazioni di irraggiamento dovute alla ciclicità abbiano agito direttamente sui vari eventi glaciali (secondo Pinna, 1996 e Bradley, 1999, la componente più importante è quella più debole ovvero quella legata alla ciclicità di 100.000 anni), oppure quanto esse abbiano interagito con altri fattori cosiddetti "terrestri". Sembra comunque verosimi-

le che per far scattare la grande macchina del clima verso una alternanza glaciale/interglaciale sia necessario combinare l'azione dei fattori astronomici a quella dei fattori interni al sistema Terra. Sarebbe assai arduo, infatti, spiegare intervalli dichiaratamente caldi come quelli registrati nell'Eocene medio e nel Cretaceo superiore (senza alcuna traccia di calotta glaciale antartica o artica), con la regolarità assoluta che domina le variazioni dei parametri orbitali.

### Il ciclo glaciale/interglaciale ed i parametri che lo influenzano

Restando nell'ambito delle oscillazioni climatiche degli ultimi 800.000 anni merita evidenziare, sia pure in forma riassuntiva (si veda anche Fig. 4), il classico meccanismo di ciclo glaciale/interglaciale guidato dalla variazione di insolazione (Duplessy, 1996):

a) *fase interglaciale* – Alle alte latitudini l'insolazione è massima, il volume dei ghiacci continentali è scarso, l'oceano e l'atmosfera trasportano verso i poli il calore accumulato alle basse latitudini, il tenore dei gas a effetto serra è elevato, la vegetazione è abbondante;

b) *diminuzione dell'insolazione nell'emisfero nord* – Alle alte latitudini i monsoni si indeboliscono e l'estensione delle zone umide si riduce (quella delle zone desertiche aumenta), la temperatura delle acque superficiali diminuisce e il ghiaccio aumenta; la foresta boreale è sostituita dalla tundra. Tutte queste retroazioni tendono ad abbassare il bilancio energetico delle alte latitudini e quindi a favorire la formazione dei ghiacci; la circolazione oceanica si deteriora lentamente e trasporta sempre meno calore verso le alte latitudini; l'oceano ha capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> superiore alla norma;

c) *fase glaciale* – Fase più lenta di parossismo glaciale, progressivo e modulato dalle variazioni dell'insolazione; massimo effetto di retroazione positiva;

d) *l'insolazione aumenta di nuovo ed i ghiac-*

ciai sono i primi a subire le conseguenze del riscaldamento – Una grande quantità di icebergs nell’oceano abbassa la temperatura delle acque superficiali (Sea Surface Temperature-SST) per cui si riduce l’evaporazione, fonte di umidità per la caduta della neve (regresso glaciale); riattivazione della circolazione oceanica che produce apporti d’acqua più calda alle alte latitudini; aumento del livello del mare con scioglimento di ghiacciai continentali.

Alcuni Autori (Ruddiman *et al.*, 1989; Berger, 1990; Huggett, 1991; Westbroeck *et al.*, 1993; Fawcett *et al.*, 1997) hanno contribuito a delineare un più complesso sistema di interazioni per spiegare i fenomeni dominanti delle oscillazioni climatiche. Il sistema Terra torna ad assumere un carattere decisivo, con le proprie caratteristiche interne che vanno a modulare quelle provenienti dall’esterno. Tra i parametri più significativi, evidenziati in proposito, si ricordano: i gas ad effetto serra (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), la circolazione oceanica, le eruzioni vulcaniche, i rapporti fra oceano e atmosfera e l’influenza dell’Uomo. Per ciascun para-

metro sono svolte qui di seguito alcune brevi considerazioni e precisazioni:

a) *i gas ad effetto serra* - L’anidride carbonica ha una grande influenza sull’innalzamento della temperatura terrestre. Analisi svolte su carote di ghiaccio mostrano che in corrispondenza dei picchi delle fasi glaciali vi è un livello di CO<sub>2</sub> più basso di circa il 30% rispetto alle fasi interglaciali (Jouzel *et al.*, 1993b). Non è ancora ben chiaro se tale diminuzione in CO<sub>2</sub> sia da interpretare come causa o come effetto della fase glaciale. Infatti, il basso tenore di CO<sub>2</sub> registrato potrebbe essere il risultato di cambiamenti nella produttività planctonica, con sottrazione di anidride carbonica dall’atmosfera in misura maggiore nei periodi più freddi (Lyle *et al.*, 1988; Westbroeck *et al.*, 1993; Thomas *et al.*, 1995); oppure, la grande concentrazione di CO<sub>2</sub> immagazzinata negli oceani potrebbe avere l’effetto di un raffreddamento dell’atmosfera con conseguente aumento delle nevi e ghiacci sulla terraferma (Broecker, 1998). Attualmente sono in corso studi per quantificare, attraverso simulazioni al *computer*, l’effetto che può avere

una brusca variazione di CO<sub>2</sub> sul clima in termini di temperatura. Se pur molto lavoro deve ancora essere fatto, si è potuto notare (Houghton *et al.*, 1995) come sia maggiore l’incidenza di una variazione positiva della CO<sub>2</sub> (effetto serra e riscaldamento) rispetto ad una negativa (raffreddamento).

Pur avendo minor incidenza dell’anidride carbonica sulle variazioni climatiche, anche il contenuto in metano mostra una netta diminuzione in coincidenza delle fasi più fredde (Taylor *et al.*, 1997);

b) *la circolazione oceanica* – Risulta uno dei fattori più importanti per la redistribuzione del calore sulla superficie terrestre. La corrente profonda nord-atlantica (North Atlantic Deep Water - NADW), ad esempio, gioca un ruolo determinante nella distribuzione del calore nell’emisfero settentrionale

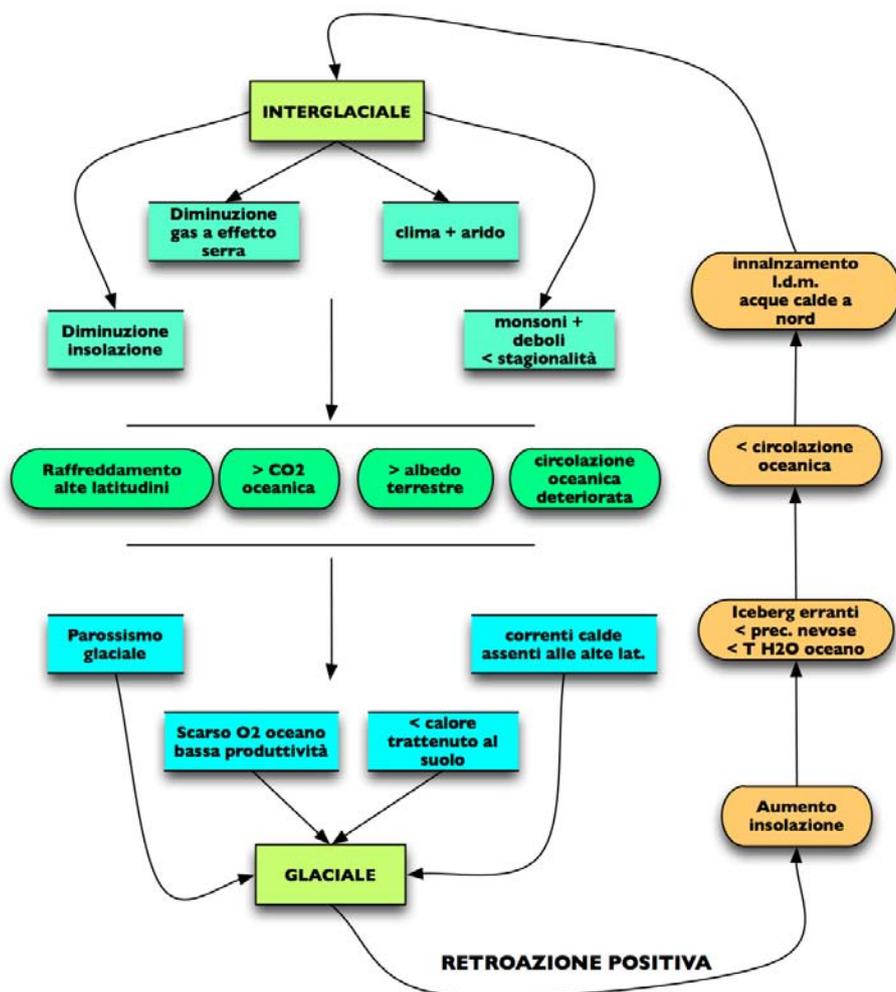


Fig. 4 - Schema concettuale di un ciclo glaciale/interglaciale (da Duplessy, 1996).

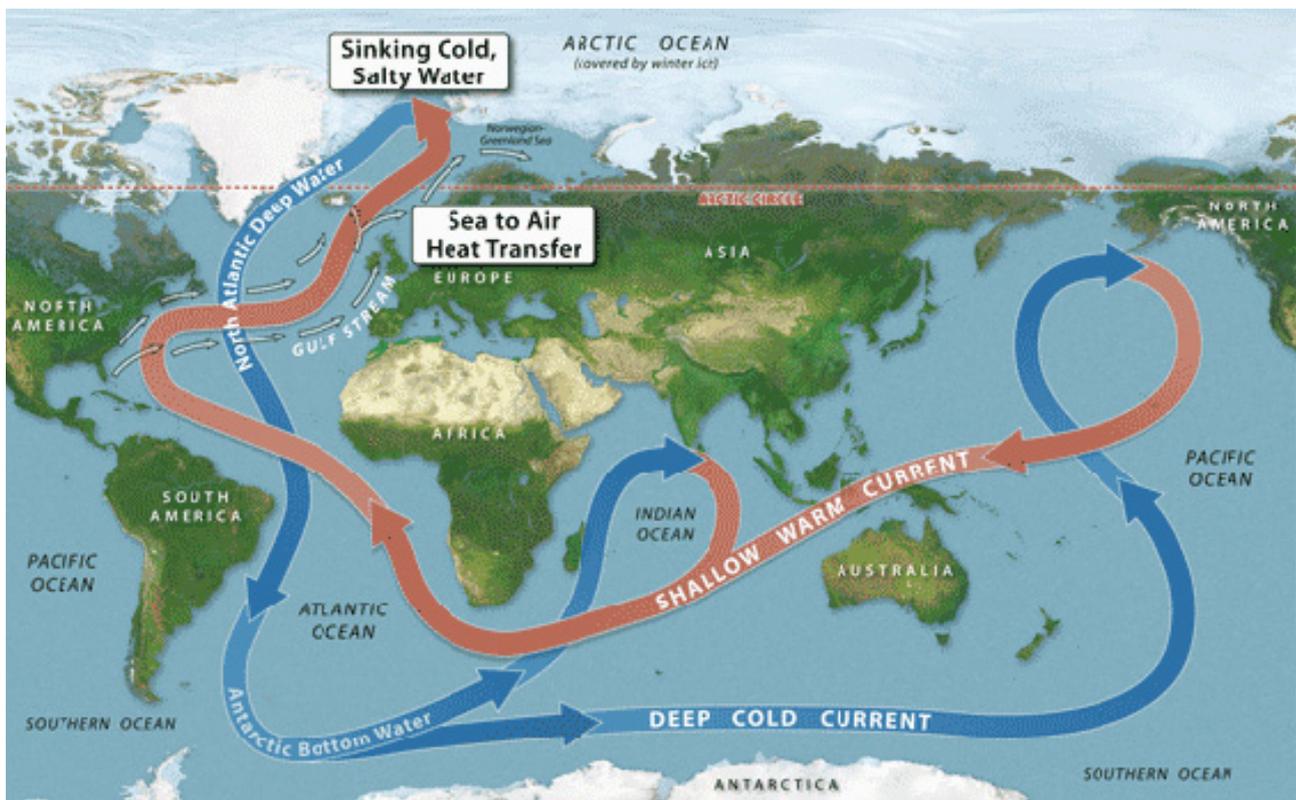


Fig. 5 - Rappresentazione grafica dell'andamento della corrente profonda nord-atlantica (NADW: North Atlantic Deep Water).

ed è responsabile della mitezza del clima nell'Europa nord-occidentale (Broecker, 1995; Jones *et al.*, 1996; Rahmstorf *et al.*, 1996). Essa prende origine dalla Corrente del Golfo e si inabissa nel settore nord-orientale dell'Oceano Atlantico settentrionale, dopo aver rilasciato una grandissima quantità di calore e aver modificato la propria salinità (Fig. 5). Studi recenti sull'alternanza di fasi glaciali e interglaciali propongono come una delle cause principali proprio le modificazioni subite nel tempo dalla corrente nord-atlantica. Si ritiene, infatti, che durante le fasi pleniglaciali la notevole estensione di acque fredde e poco salate superficiali blocchi la discesa dell'acqua verso il fondo, con conseguente interruzione della NADW; ciò provocherebbe, specialmente in Europa, inverni più freddi e ritorno ad una fase glaciale. Tutto questo avrebbe notevoli ripercussioni anche sulla concentrazione di CO<sub>2</sub> in quanto legata alla temperatura delle acque superficiali (in periodi freddi avremo una più bassa concentrazione di CO<sub>2</sub>, il contrario in periodi caldi). Un'accelerazione verso la fine di una fase glaciale è portata, oltre che da fenomeni di irraggiamento, dalla rimessa in moto della NADW e dall'aumento dell'anidride carbonica (sottratta al fondo oceanico, portata in superficie e diffusa nell'atmosfera). Da rilevare è che le modificazioni della NADW possono essere rapide

e provocare fenomeni che, se registrati su scala geologica, appaiono come istantanei. Un esempio è fornito dall'evento freddo manifestatosi circa 10-11.000 anni fa e noto come "Younger Dryas". Questo periodo di ritorno al freddo, all'interno dell'ultimo deglaciale, sembra causato proprio da una brusca interruzione della NADW per l'aumento del quantitativo di ghiaccio disciolto laddove la corrente ha il suo centro di formazione. Segni tangibili di questa brusca variazione nella circolazione oceanica sono stati registrati sui sedimenti profondi del nord Atlantico (Fairbanks, 1989; Kenneth, 1990; Maslin *et al.*, 1995, 1997). Ovviamente queste modificazioni della circolazione mondiale sono in parte attenuate in un bacino semichiuso come quello del Mar Mediterraneo, ma lo scambio di acque con l'Atlantico è comunque sempre presente e tiene traccia delle variazioni su scala globale esistenti in un certo periodo;

c) *l'attività vulcanica* – Essa determina modificazioni nel ciclo della CO<sub>2</sub> atmosferica e variando la trasparenza dell'aria controlla la quantità di energia solare in arrivo sulla Terra. Molti monitoraggi sono stati effettuati per le eruzioni più grandi e per le relative evoluzioni della colonna di particellato fino alla stratosfera (Sear *et al.*, 1987), ma non è stato mai riscontrato un impatto molto marcato sul clima; si tratta soprat-

tutto di fenomeni significativi solo nel breve termine (pochi anni) e su scala regionale. Alcuni studiosi hanno avanzato teorie a proposito di un meccanismo di innesco di una fase glaciale basato su numerose e imponenti eruzioni vulcaniche ravvicinate nel tempo, ma non sembra realizzabile se non coesistente con altri eventi di portata maggiore (irraggiamento, circolazione oceanica, variazione del *reservoir* di CO<sub>2</sub>);

d) *i grandi moti atmosferici* – Rappresentano le cause dei mutamenti climatici annuali, ma sono stati interpretati da alcuni ricercatori come possibili cause anche delle variazioni del clima nella storia geologica. Flohn (1978) e altri studiosi hanno portato su scala millenaria ciò che accade al fronte circumpolare durante un anno solare: ovvero, la contrazione del vortice polare durante le fasi calde e l'espansione verso latitudini più basse dello stesso durante le fasi fredde. In realtà, il vero problema sta nel definire se siamo in presenza di un fenomeno primario o di un fenomeno indotto da modificazioni climatiche già in atto. Sull'origine di questa "pulsazione" gli autori adducono motivazioni basate sulla fisica solare e, in particolare, sulle variazioni periodiche della radiazione ultravioletta in grado di influenzare i fenomeni dell'alta atmosfera; purtroppo non esiste una documentazione accurata su questa attività solare e, quindi, risulta difficile considerarla come causa primaria per i grandi cambiamenti climatici della storia;

e) *l'influenza dell'Uomo* – Può riguardare solo le variazioni climatiche più recenti e soprattutto in prospettiva futura. L'uso incontrollato dei combustibili fossili implica un aumento della CO<sub>2</sub>, il quale altera l'equilibrio tra CO<sub>2</sub> atmosferica e CO<sub>2</sub> disciolta negli oceani e conduce ad un incremento dell'effetto serra. Altra influenza negativa da parte dell'Uomo è rappresentata dall'immissione di sostanze inquinanti a livello sia atmosferico (clorofluorocarburi danneggianti lo strato di ozono), sia delle acque. Limitandosi agli episodi di inquinamento (prevalentemente di nitrati e fosfati) in ambito marino, si ricorda che i produttori come le alghe, base della catena alimentare, tramite queste sostanze possono esplodere in fioriture dannose alla comunità ittica e di conseguenza all'Uomo stesso; peraltro, tali fioriture algali possono interagire con altri parametri e produrre variazioni climatiche (si veda più avanti). Da considerare, infine, le modificazioni geografi-

che in termini di rimboschimento, deforestazione, caratteristiche idrologiche, ecc., le quali possono esercitare un impatto sul clima ma solo su scala regionale.

## I Coccolitoforidi

Come già annunciato nell'introduzione di questo articolo, i Coccolitoforidi sono organismi particolarmente significativi nell'ambito climatico in quanto non solo consentono di identificare nel tempo le variazioni, ma anche partecipano come concausa alle stesse almeno su scala regionale. Per questo motivo, cogliamo l'occasione per approfondire alcuni aspetti che li riguardano, specialmente quelli relativi alle caratteristiche ecologiche e climatiche.

I Coccolitoforidi (Fig. 6) sono alghe unicellulari autotrofe fotosintetiche (Protisti, Flagellati, Classe Haptophyta, Famiglia Haptophyceae) e di dimensioni decisamente piccole (da pochi a 100 μm), le quali vivono preferibilmente negli strati superficiali dell'ambiente marino pelagico (alcune specie riescono a vivere anche in aree più costiere o, addirittura, all'interno di lagune), dove costituiscono una componente essenziale del fitoplancton. Essi hanno la particolarità di secernere delle placchette calcaree (coccoliti) di varia forma e dimensione (1-50 μm), con le quali rivestono la cellula (coccosfera). Le placchette possono fossilizzare, per cui risultano testimoni (nannofossili calcarei) dell'esistenza del gruppo nei tempi geologici e, come tali, sono impiegati in vari campi delle Scienze della Terra (litogenesi, Stratigrafia, Paleoecologia, Paleoclima-

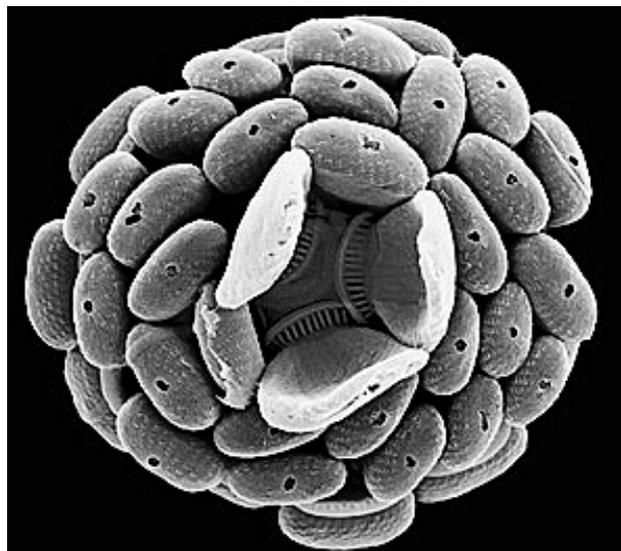


Fig. 6 - Un esempio di coccolitoforide: *Algirosphaera robusta*. Diametro di circa 10 μm.

tologia, Paleoceanografia, ecc.) e della Vita (Paleontologia evolutiva, Biologia). La presenza e, ancor più, l'abbondanza di alcune specie con rappresentanti attuali tipici di acque "calde" o "fredde", sono state utilizzate per ricostruire le variazioni climatiche del passato (in particolare del Neogene-Quaternario, Fig. 7). Tra le forme calde è da segnalare *Umbilicosphaera sibogae* (secondo Roth & Berger, 1974, Roth & Coulbourn, 1981, Flores *et al.*, 1997 il taxon si distribuisce alle basse latitudini, in acque superficiali con temperature comprese tra 24 e 28°C), tra quelle fredde *Coccolithus pelagicus* (secondo McIntyre & Bé, 1967, Roth & Berger, 1974, Roth & Coulbourn, 1981, Flores *et al.*, 1997 il taxon vive preferibilmente alle alte latitudini, in acque superficiali con temperature comprese tra 7 e 14°C). Buone indicazioni paleoclimatiche sono offerte anche da specie che, pur non avendo rappresentanti attuali, si ritrovano nelle associazioni fossili sempre insieme a taxa con conosciuta affinità climatica "calda" o "fredda". Un esempio è fornito dall'estinto genere *Discoaster* (appartenente ad un gruppo affine ai Coccolitoforidi, denominato Discoasteridi) il quale notoriamente raggiunge la massima diversificazione specifica ed abbondanza in intervalli caratterizzati da un clima tropicale o subtropicale. Nell'ambito del Pliocene esso subì, a causa di contrazioni in senso freddo, tutta una serie di riduzioni qualitative (fino ad essere rappresentato dalla sola specie *D. brouweri*) e quantitative, tanto che poi scomparve intorno al limite Pliocene/Pleistocene (Muller, 1990; Rio *et al.*, 1990; Aubry, 1992b).

Da alcuni anni l'attenzione degli studiosi si è rivolta ad una

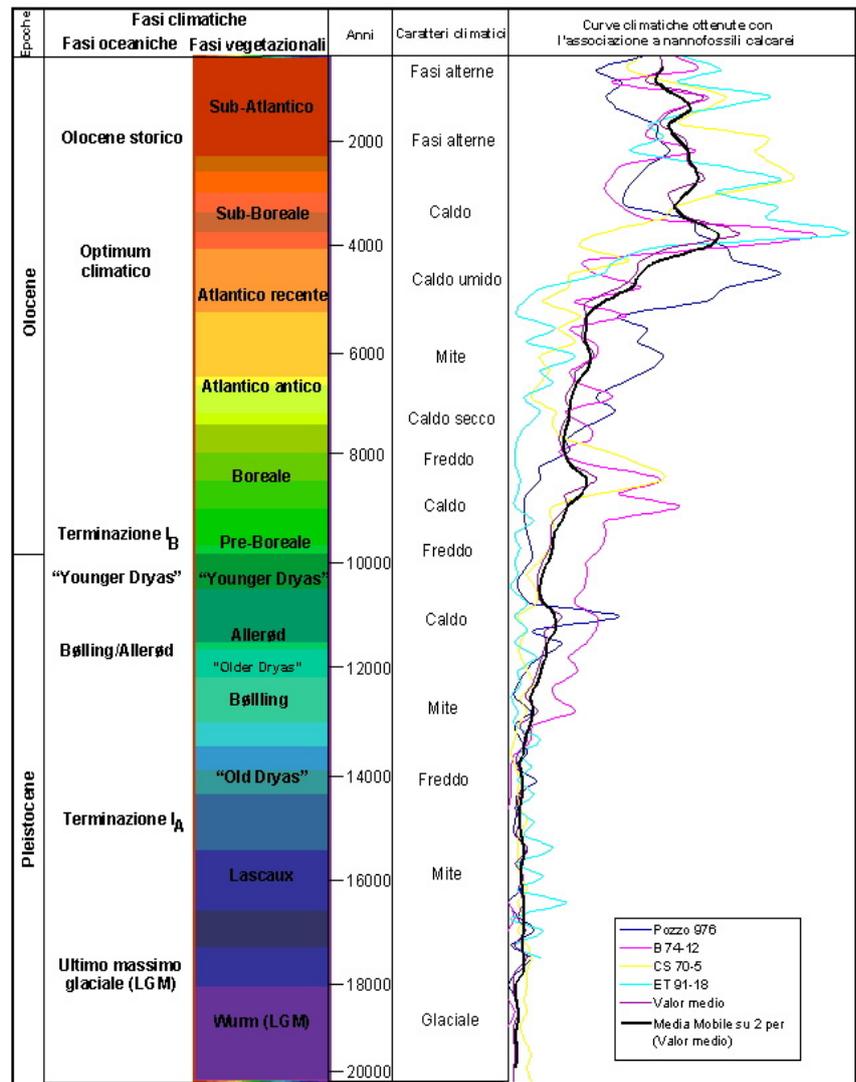


Fig. 7 - Curva climatica ottenuta dallo studio di nanofossili calcarei per gli ultimi 20.000 anni nell'area mediterranea (Pozzi, 2008). Le fasi climatiche sono riprese da Bradley (1999) con modifica; la scala dei tempi da Harland *et al.* (1989).

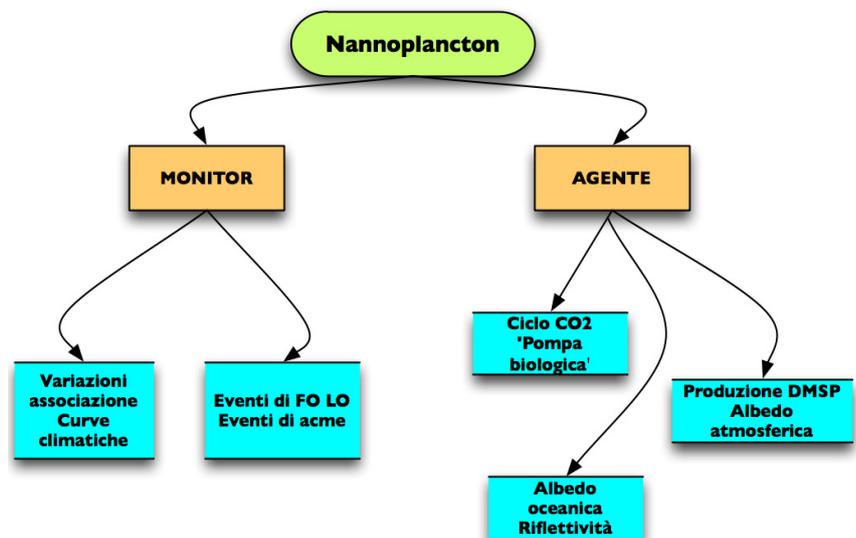


Fig. 8 - Modello concettuale che evidenzia il doppio ruolo che il nanoplancton può assumere all'interno della complessa macchina del clima.

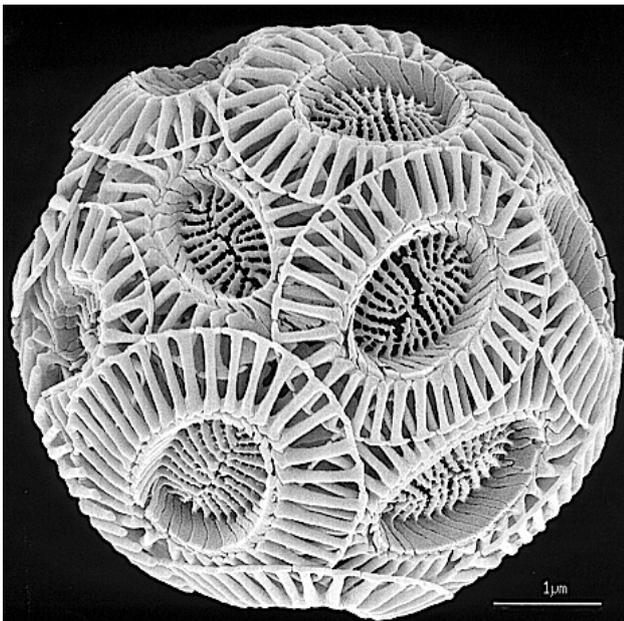


Fig. 9 - Cocosfera di *Emiliana huxleyi*.

caratteristica particolarmente significativa del nanoplancton calcareo: la sua capacità di svolgere una funzione di agente nei cambiamenti climatici della Terra (Fig. 8). Grazie ad una sperimentazione su colture in laboratorio si è cercato di conoscere meglio questo aspetto. Sulla specie *Emiliana huxleyi* (Fig. 9), che ben si presta allo scopo, è stato organizzato addirittura uno specifico programma di ricerca: il GEM (Global Emiliana Modelling Initiative) (Tyrrell & Taylor, 1996). La sperimentazione ha consentito di indagare sulle strette relazioni fra i parametri chimico-fisici

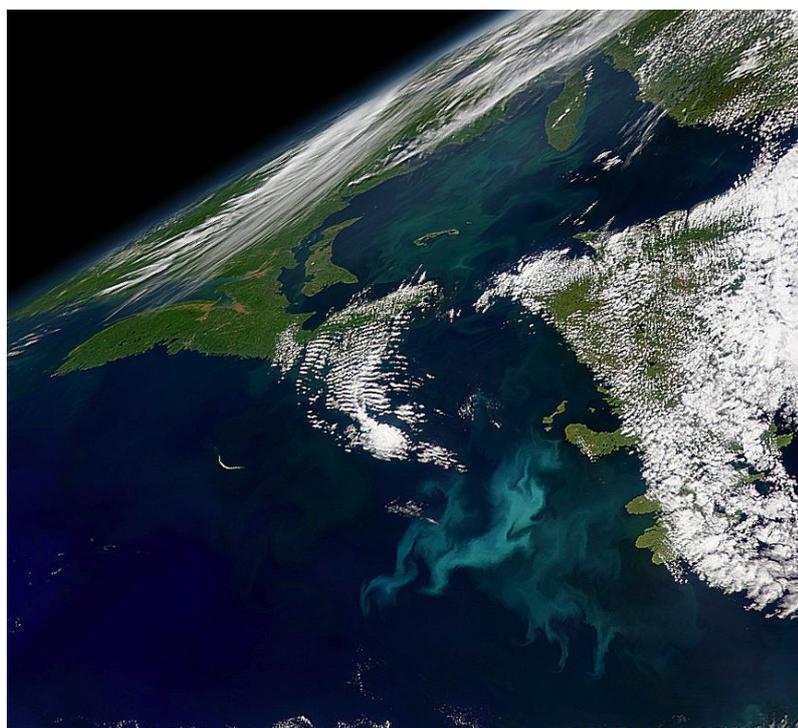


Fig. 10 - Bloom algale verificatosi nel 1999 nei pressi di Terra Nova, registrato dal satellite NASA SeaWiFS

dell'ambiente e le reazioni fisiologiche del taxon, giungendo a risultati sorprendenti. Un'indagine significativa è anche quella relativa alle fioriture (*blooms*) di *E. huxleyi*: si pensi che durante questi fenomeni naturali si possono avere fino a 1021 coccosfere per litro di acqua (Tyrrell & Taylor, 1996). Le fioriture algali avvengono di solito (dati relativi all'Atlantico settentrionale) in acque assai stratificate dove la profondità dello strato turbolento non supera i 30m. Ciò suggerisce che elevate intensità luminose sono discriminanti per il verificarsi oppure no di un *bloom*. L'intensità della radiazione solare, parametro essenziale per lo sviluppo algale, può essere considerata a livello stagionale (estiva) oppure su periodi più lunghi (quando per la combinazione dei parametri orbitali si registra la massima insolazione). Altri parametri significativi per una fioritura algale sono: a) la presenza di fosfato inorganico e l'elevata concentrazione di nitrato (rapporto N/P elevato); b) la bassa quantità di CO<sub>2</sub> disciolta nelle acque (questo perché i Coccolitoforidi sintetizzano CO<sub>2</sub> grazie al processo di calcificazione:  $\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ); c) la bassa concentrazione di silicati ( $< 2\mu\text{M kg}^{-1}$ ); d) le variazioni nella densità di microzooplancton che può limitare con la propria presenza l'entità dei *blooms*; e) il moderato aumento di micronutrienti come il ferro che può facilitare la crescita; f) la necessità di vitamina B<sub>1</sub> presente anche laddove è assente attività biologica ed indipendenza dalla presenza di vitamina B<sub>12</sub> (indispensabile per altre specie).

I Coccolitoforidi, in modo più accentuato se in presenza di *blooms* (oltre ad *E. huxleyi* anche *C. pelagicus* sviluppa fioriture che vanno a caratterizzare gli oceani per migliaia di chilometri quadrati), possono influenzare il clima attraverso quattro fattori (Tyrrell & Taylor, 1996):

- l'*albedo oceanica* (rapporto fra luminosità riflessa e incidente). Le grandi esplosioni quantitative di Coccolitoforidi hanno come effetto diretto un considerevole aumento dell'albedo oceanica; le proprietà ottiche riflettenti della calcite fanno sì che ciascun coccolite si comporti come un microscopico specchio che riflette la radiazione luminosa che lo raggiunge. L'enorme numero di coccoliti

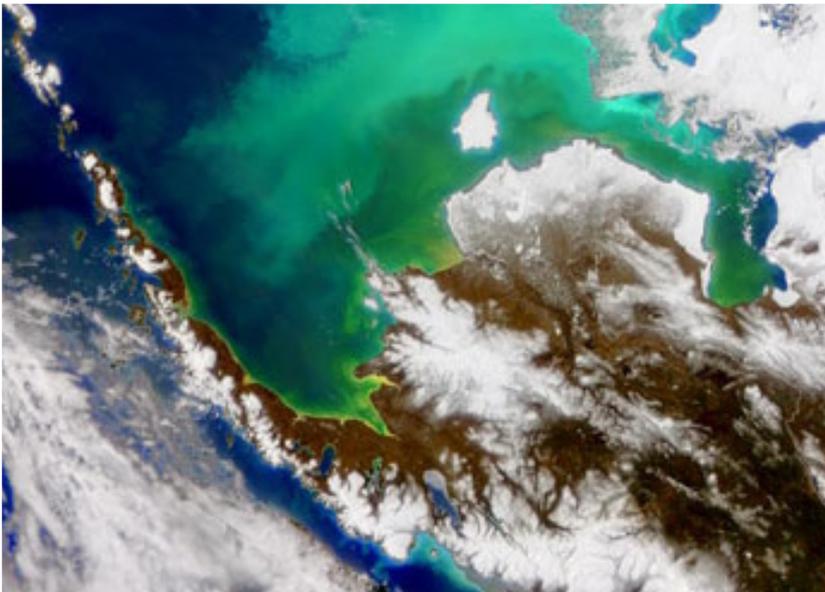


Fig. 11 - Bloom algale con “effetto lattiginoso” verificatosi nel Mare di Bering, registrato dal medesimo satellite.

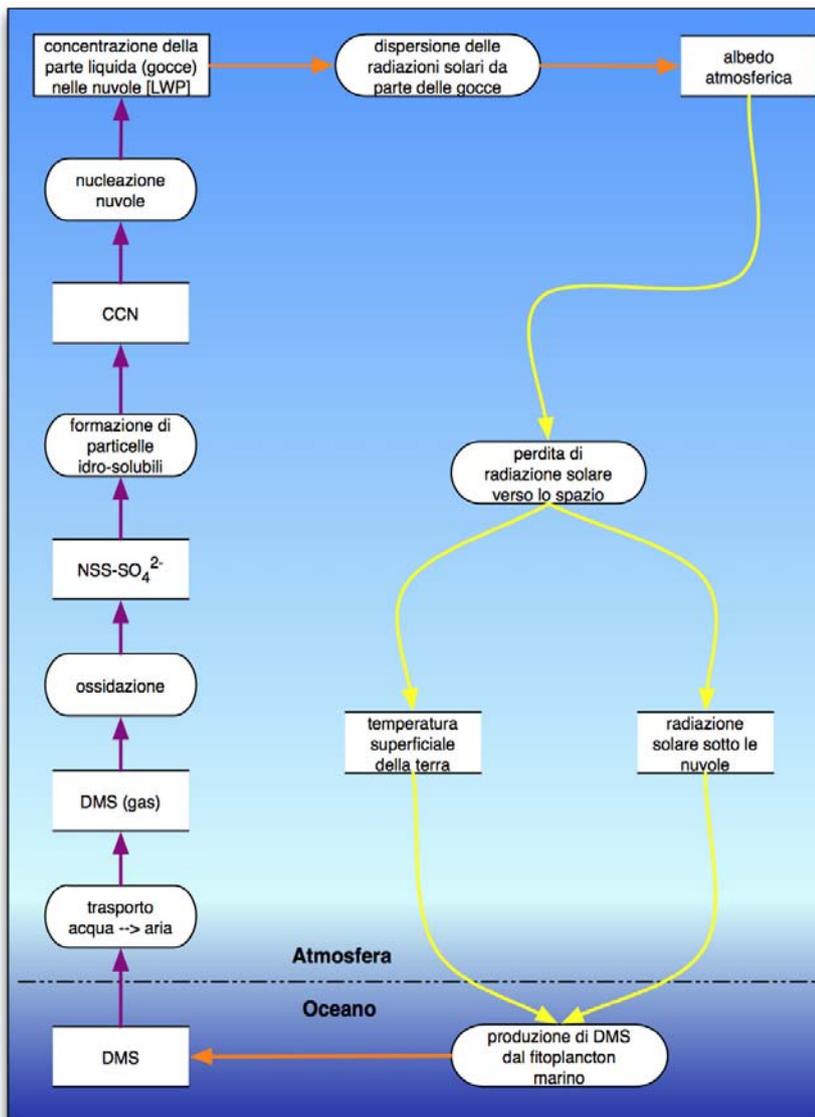


Fig. 12 - Schematizzazione dell’impatto della produzione di DMS sull’albedo atmosferica (modificato da Charlson *et al.*, 1987).

presenti durante una fioritura riesce addirittura a cambiare il colore delle acque, trasformandolo in un bianco lattiginoso ben visibile nelle foto da satellite (Fig. 10-11). In un *bloom* con  $100 \text{ mg m}^{-3}$  di carbonio sotto forma di calcite si può avere una variazione dell’albedo oceanica da  $\Delta 7.2\%$  a  $\Delta 9.3\%$ . Se il fenomeno dura 3 settimane e copre  $1.4 \times 10^6 \text{ km}^2$ , il valore annuo medio dell’albedo oceanica può aumentare dello  $0.03\%$  (Tyrrell & Taylor, 1996); ovviamente si tratta di un calcolo approssimato, però il valore potrebbe essere in difetto in quanto i *blooms* non sono sempre registrati oppure non sono di portata così ampia da essere considerati “interessanti” (se l’incidenza media di questo fenomeno sull’albedo oceanica fosse dello  $0.06\%$ , il valore sarebbe comparabile con quello della immissione di  $\text{CO}_2$  nell’atmosfera legata a motivi antropici). Una elevata riflettività porta maggiore oscurità negli strati più profondi della zona fotica e crea una situazione più difficile per la vita del fitoplancton;

- *il calore oceanico*. Per la maggiore riflettività dovuta ai coccoliti, molto dell’irraggiamento solare torna nell’atmosfera o comunque rimane “imprigionato” negli strati più superficiali della colonna d’acqua. Si ottiene, così, un raffreddamento sul medio periodo piuttosto evidente, che comprende le zone profonde adiacenti alla zona del *bloom*;

- *l’albedo atmosferica*. Il fitoplancton (siliceo e calcareo) produce un composto dello zolfo chiamato dimetilsulfide:  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  (DMS). I quantitativi di questo composto prodotti dalle Diatomee possono essere anche 100 volte minori rispetto a quelli dei Coccolitoforidi. A seguito della morte di Coccolitoforidi e delle trasforma-

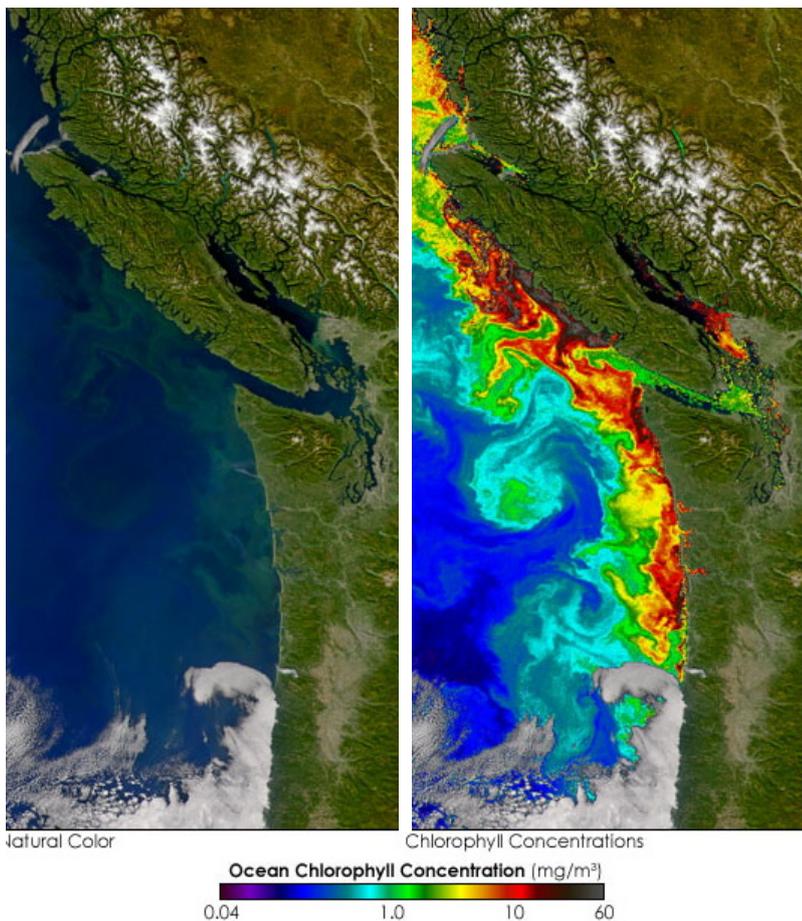


Fig. 13 - Concentrazione di clorofilla durante un episodio di *bloom* algale nel mare di Washington.

zioni biochimiche avvenute negli oceani e nell'atmosfera, parte del DMS (nato originariamente come DMSP –  $(\text{CH}_3)_2\text{S} + (\text{CH}_2)_2\text{COO}$  – e poi trasformato in DMS con liberazione di acido acrilico) finisce per entrare nel processo di condensazione dei nuclei (CCN: cloud condensation nuclei) delle nuvole (Charlson *et al.*, 1987) (Fig. 12). In questo modo, la produttività del nanoplancton si può considerare coadiuvante nell'aumento globale di riflettività del pianeta (il DMS biogenico contribuisce per  $1.5 \times 10^{13}$ g di zolfo nell'atmosfera all'anno, giocando un ruolo importante nel ciclo dello zolfo). Sono state fatte misure sulla produzione di DMS ed è stata registrata una correlazione positiva fra il suo aumento e quello di clorofilla *a* (Fig. 13) (una relazione analoga è stata accertata rispetto alla salinità, alla luminosità ed alla lunghezza del giorno). Viene in questo modo dimostrata indirettamente la connessione con le attività biologiche dei coccolitoforidi. Il DMSP, prodotto diretto del nanoplancton, è stato confrontato con buon successo con un composto di ammonio quaternario caratterizzato da note funzioni di osmoregolazione per molti organismi. Tuttavia la complessità dei fenomeni

di trasformazione dal DMSP al CCN non permette l'esatta stima degli effetti sull'ambiente.

- *il ciclo della CO<sub>2</sub>*. Tutto il fitoplancton nella sua crescita rimuove CO<sub>2</sub> per produrre materia organica; ciò, ovviamente, porta ad una riduzione della CO<sub>2</sub> atmosferica. Il nanoplancton svolge una funzione ulteriore molto importante, ovvero utilizza lo ione bicarbonato e quello di calcio per formare calcite (costituente dei coccoliti) e CO<sub>2</sub>. Come si può facilmente intuire la reazione di calcificazione è intimamente connessa con quella di fotosintesi, tanto che è impossibile scindere le due reazioni. La reazione di fotosintesi necessita di CO<sub>2</sub> che sottrae continuamente alla reazione di calcificazione; viene così a crearsi un gradiente intra-cellulare di CO<sub>2</sub> con componente di flusso esterna rispetto al luogo della cellula dove avviene la calcificazione (apparato del Golgi). Tutto ciò porta a favorire il processo di calcificazione essen-

zialmente per due motivi: a) continua sottrazione di CO<sub>2</sub> dalla reazione di calcificazione, spostando così l'equilibrio verso la produzione di CaCO<sub>3</sub>; b) ambiente sovrassaturo di HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Nei casi di *blooms* questo processo è accelerato e potenziato, tanto da creare un flusso di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera all'oceano per compensare il forte consumo da parte delle alghe. Le più recenti e avanzate tecnologie di indagine hanno dimostrato che, al contrario di quanto veniva ritenuto in passato, il segnale globale dato da questo utilizzo di CO<sub>2</sub> è una diminuzione della anidride carbonica atmosferica e di conseguenza un potenziale contributo al raffreddamento del clima. Infatti, con la morte i Coccolitoforidi iniziano una caduta verso il basso che sarebbe, per le loro dimensioni assai piccole, lentissima. Durante questa caduta nella colonna d'acqua essi vengono mangiati da organismi vari (ad esempio i Crostacei Copepodi) che li riemettono in forma di *fecal pellets*, oppure vanno a formare degli aggregati (*marine snow*). Tutto ciò causa un più rapido loro affondamento; se questa velocità si rivela maggiore del tempo impiegato dai batteri per riconvertire il carbonio in CO<sub>2</sub> e annullare

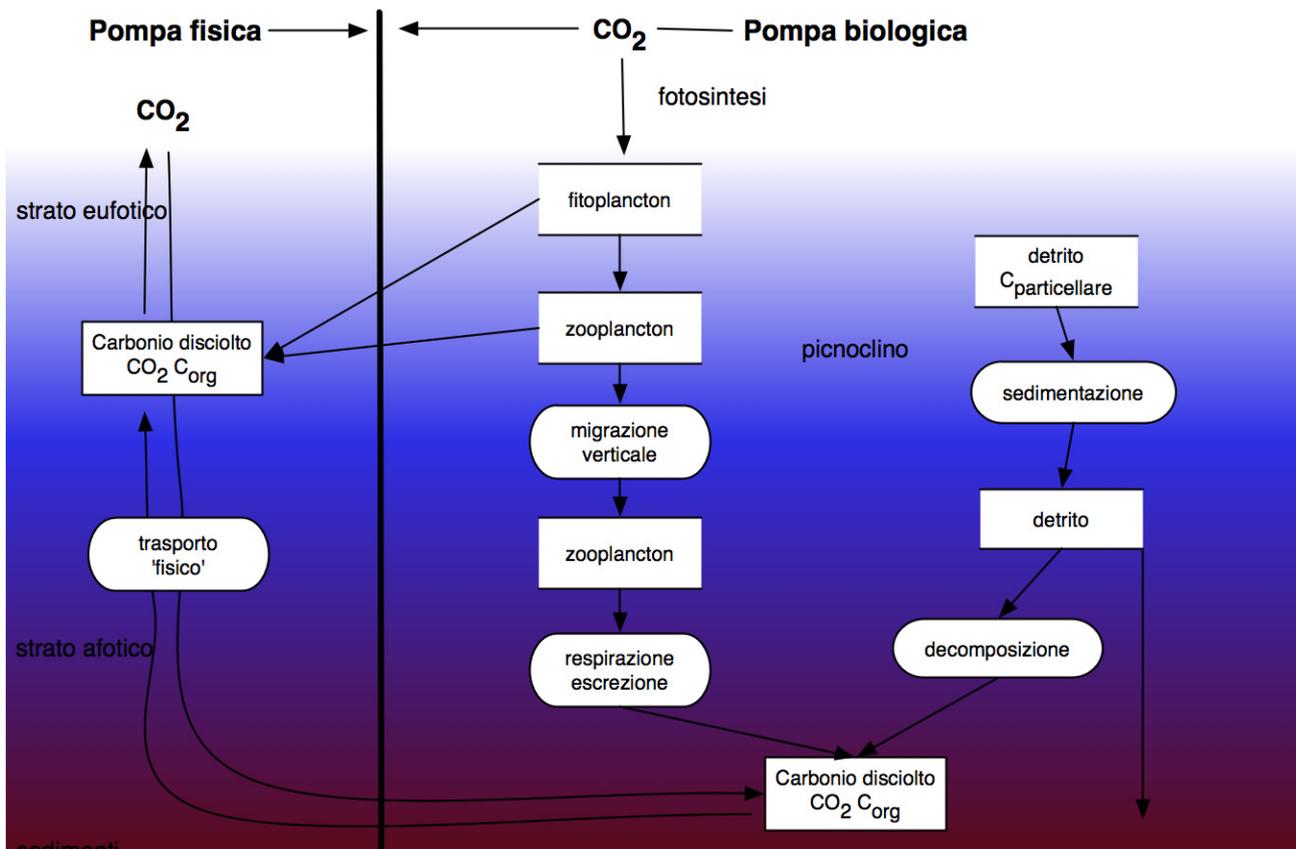


Fig. 14 - Schematizzazione dei meccanismi, fisici e biologici, che regolano il ciclo della CO<sub>2</sub> (modificato da Jupin, 1996)

così l'effetto della sottrazione dalle acque superficiali, allora uno degli effetti di un *bloom* può venir considerato anche la diminuzione di CO<sub>2</sub> atmosferica. Purtroppo, quantificare questo effetto non è semplice a causa della difficile ricostruzione in laboratorio dell'interfaccia e delle interazioni oceano/atmosfera. Le interazioni fin qui discusse non sono altro che la schematizzazione della "pompa biologica" della CO<sub>2</sub> che convoglia continuamente questo gas verso le profondità dell'oceano. Questo processo viene costantemente affiancato da un altro, analogo negli effetti ma diverso nei meccanismi, che è quello della "pompa fisica" (Jupin, 1996). Esso è caratterizzato dalla reazione:

$$F = K (C_o - C_a)$$

dove F è la quantità di gas scambiato nell'unità di tempo e di superficie, C<sub>o</sub> la concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'oceano e C<sub>a</sub> la concentrazione nell'oceano all'equilibrio con l'atmosfera. F quindi dipende dal gradiente di CO<sub>2</sub> fra oceano e atmosfera e da K il quale è strettamente dipendente dalla temperatura e da fattori ambientali come la turbolenza all'interfaccia acqua/aria; le acque fredde contengono più CO<sub>2</sub> disciolta, quindi si ha che le acque profonde si trovano arricchite in CO<sub>2</sub> sia dalla pompa

biologica che da quella fisica (Fig. 14).

Da questa breve descrizione risulta evidente che i Coccidoforidi possono influenzare i cambiamenti climatici in modo significativo, ma probabilmente non sufficiente ad innescare una fase glaciale.

### Modelli climatici

Broecker & Denton (1990) hanno ipotizzato un'evoluzione climatica caratterizzata da "salti quantici"; in altre parole, secondo questi Autori si passerebbe da uno stadio glaciale ad uno interglaciale per "salto netto" ed in brevissimo tempo, una volta che tutte le variabili in gioco si sono sommate e la stabilità del sistema è venuta meno. È da ritenersi verosimile che il sistema clima abbia trovato la propria stabilità attraverso un "salto improvviso" ogni 100.000 anni (eccentricità) e che la variazione di alcuni parametri "terrestri" (circolazione oceanica, produttività ed eruzioni vulcaniche) sia entrata "in fase" con quella dell'eccentricità assumendone lo stesso periodo (Broecker *et al.*, 1990; Broecker & Denton, 1990).

La cosiddetta modellizzazione, molto in uso per la ricostruzione e la previsione delle variazioni del clima, non può trascurare nessuno dei fattori climatici, anzi trova nella loro unione il modo migliore per spiegare i più inaspettati eventi naturali. Le oscillazioni climatiche che hanno caratterizzato il Quaternario “glaciale” (ultimi 800.000

anni circa), sono quindi considerate in questo contesto come frutto di un insieme di interazioni eterogenee, le quali hanno permesso l’alternarsi di stadi glaciali e interglaciali in modo periodico. Il modello concettuale sintetico, espresso nella figura 15, vuole rendere esplicito tale insieme di interazioni.

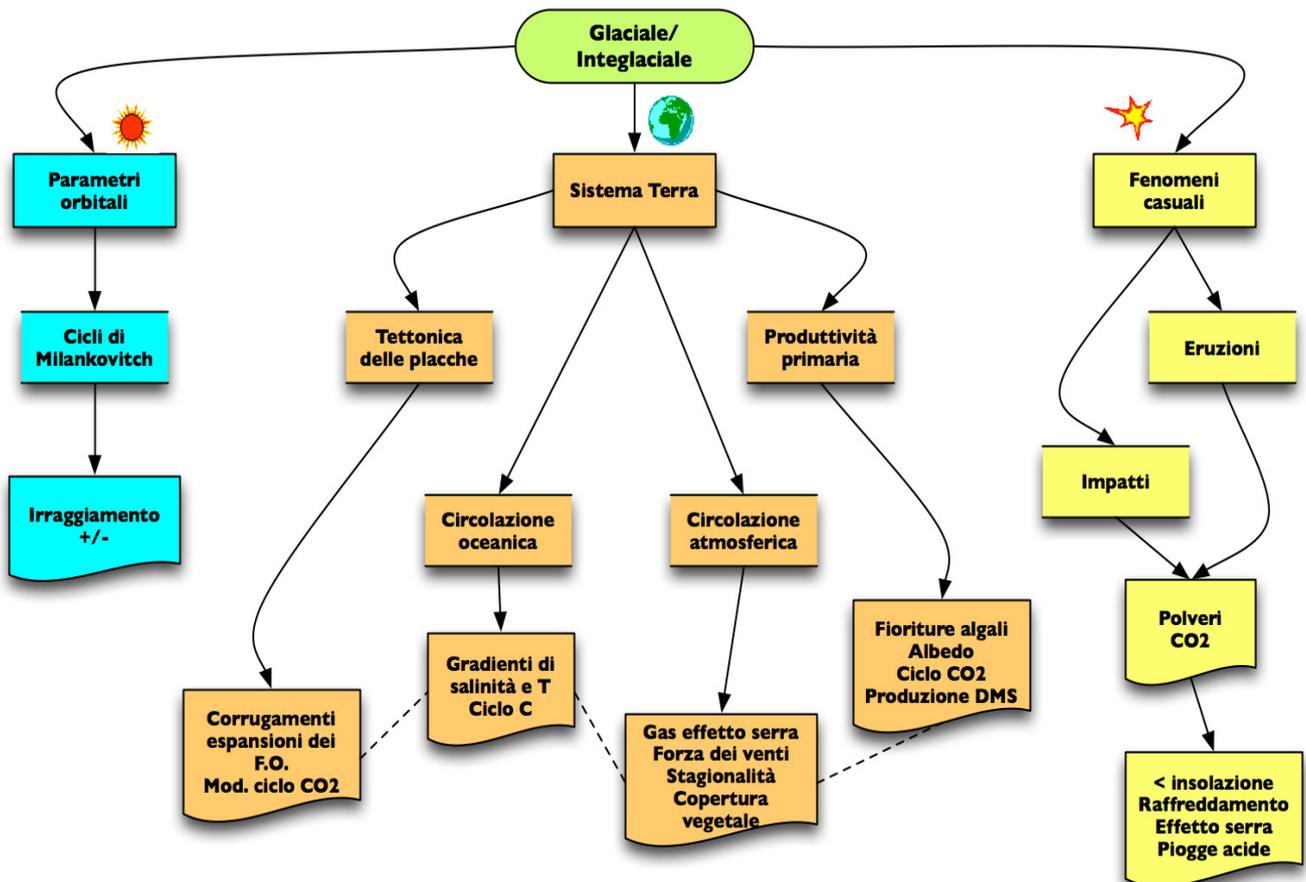


Fig. 15 - Modello concettuale sintetico delle cause che possono intervenire per innescare un ciclo glaciale/interglaciale.

## Testi citati

Aubry M.P. (1992b) – *Late Paleogene calcareous nannoplankton evolution: A tale of climate deterioration*. In: *Eocene-Oligocene climatic and Biotic Evolution* (Prothero D.R. & Berggren W.A. eds), 272-309, Princeton University Press, Princeton.

Berger W.H. (1990) – *The Younger Dryas cold spell - a quest for causes*. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* (Global and Planetary Section), 89: 219-237.

Bradley R.S. (1999) – *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*.

International Geophysics Series 64, Academic Press, London.

Broecker W.S. (1995) – *Origin of the North Atlantic's Heinrich Events*. *Climate Dynamics*, 6: 265-273.

Broecker W.S. (1998) – *Paleoceanic circulation during the last deglaciation: A bipolar seesaw?* *Paleoceanography*, 13: 119-121.

Broecker W.S., Bond G., Klas M., Bonani, G. & Wolfi W. (1990) – *A salt oscillator in the glacial Atlantic? 1. The concept*. *Paleoceanography*, 5: 469-477.

Broecker W.S. & Denton G.H. (1990) – *I*

- fattori di controllo dei cicli glaciali*. Le Scienze, 259: 63-71.
- Charlson R.J., Lovelock J.E., Andrea M.O. & Warren S.G. (1987) – *Oceanic phytoplankton, atmospheric sulfur, cloud albedo and climate*. Nature 326: 655-661.
- Croll J. (1867a) – *On the eccentricity of the Earth's orbit, and its physical relations to the glacial epoch*. Philosophical Magazine, 33: 119-131.
- Croll J. (1867b) – *On the change in the obliquity of the ecliptic, its influence on the climate of the polar regions and of the level of the sea*. Philosophical Magazine, 33: 426-445.
- Duplessy J.C. (1996) – *Quand l'océan se fâche. Histoire naturelle du climat*. Editions Odile Jacob. Sciences.
- Emiliani C. (1955) – *Pleistocene temperatures*. Journ. Geology, 63: 538-578.
- Emiliani C. (1966) – *Paleotemperature analysis of Caribbean cores, P6304-8 and P6304-9 and a generalized temperature curve for the past 425,000 years*. Journ. Geology, 74: 109-126.
- Fairbanks R.G. (1989) – *A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation*. Nature, 342: 637-642.
- Fawcett P.J., Ágústsdóttir A.M., Alley R.B & Shuman C.A. (1997) – *The Younger Dryas termination and North Atlantic Deep Water formation: Insights from climate model simulations and Greenland ice cores*. Paleoceanography, 12: 23-37.
- Flohn H. (1978) – *Comparison of Antarctic and Arctic climate and its relevance to climate evolution*. In: *Antarctic Glacial History and World Paleoenvironments* (E.M. Van Zindaren Bakker, ed), 3-13, Balkema, Rotterdam.
- Flores J.A., Sierro F.J., Francés G., Vasquez A. & Zamarreño J. (1997) – *The last 100,000 years in the western Mediterranean: sea surface water and frontal dynamics as revealed by coccolithophores*. Marine Micropaleontology, 29: 351-366.
- Harland W.B., Armstrong R.L., Cox A.V., Craig L.E., Smith A.G. & Smith D.G. (1989) – *A geological time scale 1989*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Houghton J.T., Meira Filho L.G., Bruce J., Hoesung L., Callander B.A., Haites E., Harris N. & Maskell K. (1995) – *Climate Change 1994. Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Huggett R.J. (1991) – *Climate, Earth Processes and Earth History*. Springer, Berlin.
- Lyle M., Murray D.W., Finney B.P., Dymond J., Robbins J.M. & Brooksforce K. (1988) – *The record of late Pleistocene biogenic sedimentation in the eastern tropical Pacific Ocean*. Paleoceanography, 3: 39-59.
- Jones P.D., Bradley R.S. & Jouzel J. eds. (1996) – *Climatic variations and forcing mechanism over the last 2,000 years*. Springer, Berlin.
- Jouzel J., Barkov N.I., Barnola J.M., Bender M., Chappellaz J., Genthon C., Kotlyakov V.M., Lipenkov V., Lorius C., Petit J.R., Raynaud D., Raisbek G., Ritz C., Sowers T., Stievenard M., Yiou F. & Yiou P. (1993b) – *Extending the Vostok ice-core record of paleoclimate to the penultimate glacial period*. Nature, 364: 407-412.
- Jupin H. (1996) – *Le cycle du carbone*. Hachette Superieur, Paris.
- Kenneth J.P. (ed) (1990) – *The Younger Dryas Event*. Paleoceanography (Spec. Sect.), 5: 891-1041.
- Maslin M.A., Shackleton N. & Pflaumann U. (1995) – *Surface water temperature, salinity and density changes in the N.E. Atlantic during the last 45,000 years: Heinrich events, deep water formation and climatic rebounds*. Paleoceanography, 10: 527-544.
- Maslin M.A., Thomas E., Shackleton N.J., Hall M.A. & Seidov D. (1997) – *Glacial Northeast Atlantic surface water pCO<sub>2</sub>: productivity and deep-water formation*. Marine Geology, 144: 177-190.
- McIntyre A. & Bè A.W.H. (1967) – *Modern Coccolithophoridae of the Atlantic Ocean. Placoliths and Cirtoliths*. Deep-Sea Research, 17: 561-597.
- McIntyre A., Bè A.W.H. & Roche M.B. (1970) – *Modern Pacific Coccolithophorida: A*

*Paleontological thermometer*. N.Y. Acad. Sci., Trans., 32: 720-731.

Milankovitch M.M. (1941) – *Canon of insolation and the ice-age problem*. Koniglich Serbische Akademie, Beograd [English translation by the Israel Program for Scientific Translations, published for the US Department of Commerce, and the National Science Foundation, Washington, DC (1969).].

Muller C. (1990) – *Nannoplankton biostratigraphy and paleoenvironmental interpretations from the Tyrrhenian Sea, ODP Leg 107 (Western Mediterranean)*. Proceedings of the Ocean Drilling Program, 107: 495-511.

Pozzi M. (2008) – *Pal@eomatica*. Editrice UNI Service.

Raffi S. & Serpagli E. (1993) – *Introduzione alla Paleontologia*. Scienze della Terra, Utet, Torino.

Rahmstorf S., Marotzke J. & Willebrand J. (1996) – *Stability of the Thermohaline Circulation*. In: *The Warmwatersphere of the North Atlantic Ocean* (Kraus W. ed), 129-157, Borntraeger, Berlin.

Rio D., Raffi I. & Villa G. (1990) – *Pliocene-Pleistocene calcareous nannofossil distribution patterns in the Western Mediterranean*. Proceedings of the Ocean Drilling Program, 107: 513-533.

Roth P. & Berger W.H. (1975) – *Distribution and Dissolution of Coccoliths in the South and Central Pacific*. In: *Dissolution of deep-sea carbonates*. Cushman Found. Foram. Res., Spec. Publ., 13: 87-113.

Roth P.H. & Coulbourn W.T. (1982) – *Floral and solution pattern of coccoliths in surface sediments of the North Pacific*. Marine Micropaleontology, 7: 1-52.

Ruddiman W.F., Raymo M.E., Martinson D.G., Clement B.M. & Backman J. (1989) – *Pleistocene evolution: northern hemisphere ice sheets and north Atlantic Ocean*. Paleooceanography, 4: 353-412.

Sear C.B., Kelly P.M., Jones P.D. & Godess C.M. (1987) – *Global surface air temperature responses to major volcanic eruptions*. Nature, 330: 365-367.

Shackleton N.J. & Opdyke N.D. (1973) – *Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-239: oxygen isotope temperatures and ice volume on a 105 year and 106 year scale*. Quaternary Research, 3: 39-55.

Taylor K.C., Mayewski P.A., Alley R.B., Brook E.J., Gow A.J., Grootes P.M., Meese D.A., Saltzman E.S., Severinghaus J.P., Twickler M.S., White J.W.C., Whitlow S. & Zielinski G.A. (1997) – *The Holocene-Younger Dryas Transition recorded at Summit, Greenland*. Science, 278: 825-827.

Thomas E., Booth L., Maslin M. & Shackleton N.J. (1995) – *Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45,000 years: productivity changes as seen from the bottom*. Paleooceanography, 10: 545-562.

Tyrrell T. & Taylor A.H. (1996) – *A modelling study of Emiliania huxleyi in the NE Atlantic*. Journal of Marine Systems, 9(1/2): 83-112.

Westbroek P., Brown C.W., van Bleijswijk J., Brownlee C., Brummer G.J., Conte M., Egge J., Fernandez E., Jordan R., Knappertsbusch M., Stefels J., Veldhuis M., van der Wal P. & Young J. (1993) – *A model system approach to biological climate forcing; the example of Emiliania huxleyi*. Global and Planetary Change, 8: 27-46.

## Fonti internet

Le figure 6, 9, 10, 11 e 13 sono riprese dai seguenti siti:

<http://discovermagazine.com/2004/aug/plankton-planet/plankton-doubleplated.jpg>

[http://www.biol.tsukuba.ac.jp/%7Eikawa/shiraiwaHP/parts/HP04\\_EmiL.jpg](http://www.biol.tsukuba.ac.jp/%7Eikawa/shiraiwaHP/parts/HP04_EmiL.jpg)

[http://graphics8.nytimes.com/images/2008/04/17/science/earth\\_533.jpg](http://graphics8.nytimes.com/images/2008/04/17/science/earth_533.jpg)

[http://www.genomenetwork.org/gnn\\_images/news\\_content/02\\_02/bloom\\_art/bloom\\_art1.jpg](http://www.genomenetwork.org/gnn_images/news_content/02_02/bloom_art/bloom_art1.jpg)

[http://veimages.gsfc.nasa.gov/19623/Washington\\_SEA\\_2004275.jpg](http://veimages.gsfc.nasa.gov/19623/Washington_SEA_2004275.jpg)

# Travertini e *calcareous tufa*, carbonati continentali di ambiente subaereo

Anna Gandin, Enrico Capezzuoli

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena  
gandin@unisi.it, capezzuoli@unisi.it

Travertini e *calcareous tufa* sono sedimenti calcarei continentali per lo più incrostanti, che si formano per precipitazione di carbonato di calcio da acque correnti (Fig. 1) sulla superficie terrestre. Il loro sviluppo è strettamente legato alla presenza e abbondanza di corpi rocciosi carbonatici e/o solfatici che possano cedere ioni calcio alle acque circolanti.

I carbonati continentali da acque correnti sono tuttora in formazione sulla superficie terrestre in sistemi ipogei o carsici (Fig. 2) oppure epigei, termali (Fig. 3) e carsico/fluvio-palustri



Fig. 1 - Nei condotti, le acque supersature di carbonato di calcio depongono calcite fino ad ostruirli.



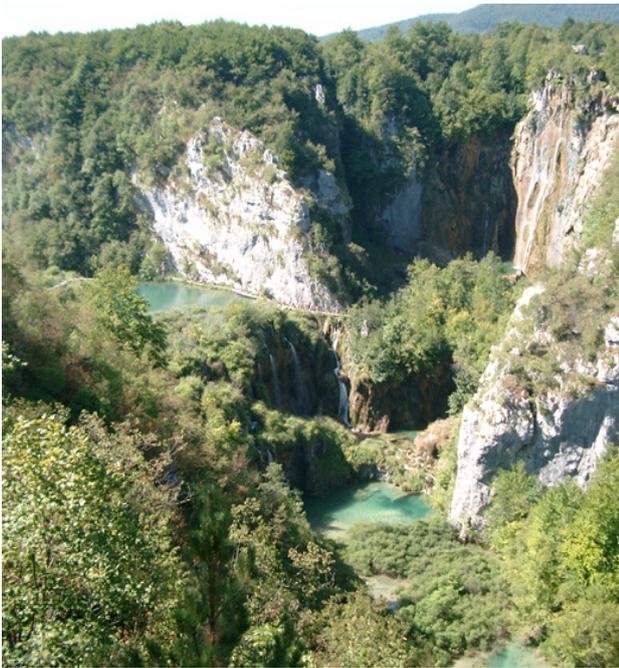
Fig. 2 - Un ambiente ipogeo carsico della Sardegna: la Grotta di Santa Barbara nel “calcareo ceroido” cambriano della miniera di San Giovanni, nel Sulcis Iglesiente.

(Fig. 4). Danno origine a corpi sedimentari talora cospicui con un potenziale di preservazione generalmente basso: la loro abbondanza e distribuzione a livello planetario infatti, è prevalentemente collegata con eventi recenti, essenzialmente quaternari, ma analoghi depositi più antichi (cretacei nel sud della Francia: Freytet & Plaziat, 1982; eocenici nel sud dei Pirenei in Spagna, Nickel, 1983; messiniani nel bacino di Volterra, Bossio *et al.*, 1992; Gandin *et al.*, 2002) si sono localmente conservati.

Al contrario dei sedimenti marini, i calcari continentali che si formano sulla superficie terrestre, possono essere studiati durante la loro formazione. L'osservazione diretta dei processi di formazione dei differenti tipi di calcari conosciuti, nei rispettivi sistemi deposizionali attivi mostra condizioni chimico fisiche ed ecologiche/ambientali molto differenti, generalmente contrastanti tra loro, che si riflettono fedelmente nelle caratteristiche petrologiche, geochimiche/isotopiche e che giustificano una netta distinzione specialmente in relazione al significato geologico e ambientale dei relativi depositi.



Fig. 3 - Un ambiente epigeo termale: la sorgente del Bulicame (Viterbo), dove l'acqua sulfurea sgorga a circa 55°C.



**Fig. 4** - Un ambiente epigeo carsico della Croazia: cascate e laghetti nel verde Parco di Plitvice, tra Zara e Zagabria.

Una breve rassegna dei processi e condizioni ambientali di deposizione dei carbonati continentali potrà aiutarci nell'attribuzione genetica dei caratteri litologici e tessuturali dei depositi antichi, e comunque non più connessi alla sorgente primaria.

Mentre i calcari lacustri e in parte quelli palustri, si formano come quelli marini, per la litificazione in fase diagenetica, di fanghi di calcite microcristallina (micrite) accumulati per decantazione in acque tranquille in un bacino più o meno profondo e ampio, gli altri depositi calcarei continentali sono il prodotto dell'immediata litificazione del carbonato di calcio che precipita sotto forma di incrostazione (flowstone), su qualsiasi oggetto che le acque correnti incontra-



**Fig. 6** - Calcrete evoluta sui depositi carbonatici costieri di Shark Bay, in Australia.



**Fig. 5** - Rami di arbusti e giunchi incrostati di carbonato di calcio dalle acque fluviali di Plitvice.

no lungo il loro percorso (Fig.1, 5).

Nel gruppo dei carbonati continentali sono compresi:

A - concrezioni pedogenetiche o *calcrete*, che si formano per evapotraspirazione delle acque piovane nei suoli delle regioni aride/semiaride (Fig. 6);

B - calcari incrostanti depositi da acque correnti (*flowstones*) in:

- ambienti ipogei (grotte/sistemi carsici): *speleotemi* (stalattiti, stalagmiti, ecc.), sono sedimenti incrostanti laminati, abiotici, cristallini (Fig. 7);

- ambienti epigei, subaerei, derivati da  
a) acque carsiche "fresche" e depositi in sistemi fluvio-palustri: i *calcareous tufa* (Fig. 8),

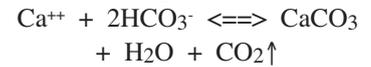


**Fig. 7** - Speleotemi: sezione di stalattite, con involucri cristallini semiconcentrici intorno al foro di sgocciolamento dell'acqua.



**Fig. 8** - *Calcareous tufa*: biolititi massicce composte dalla sovrapposizione di “cuscini” vegetali calcificati da acque fluviali correnti. Parco del Diborrato presso Colle Val d’Elsa (Siena).

(carsici), hanno acquisito ioni calcio (acque “dure”) per dissoluzione di rocce carbonatiche e talora solfatiche, presenti sulla superficie terrestre e nell’immediato sottosuolo, sotto forma di bicarbonato di calcio, secondo l’equilibrio:



La temperatura delle acque termali, normalmente maggiore della temperatura ambiente, dipende dal grado geotermico ovvero dalla profondità del circuito ipogeo e talora dalla presenza nei dintorni di apparati vulcanici. La temperatura alla

b) acque calde, spesso solforose e depositi in sistemi termali: i *travertini* (Fig. 9).

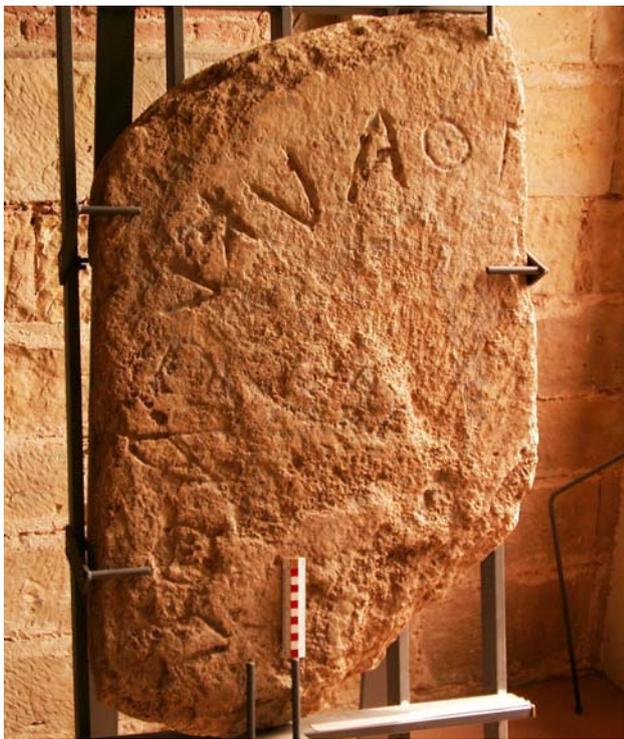
I sistemi deposizionali epigei, termale e carsico-fluvio/palustre, sono localizzati in ambienti geomorfologici diversi, sono alimentati da acque di falda per lo più di origine meteorica ma con una storia di circolazione e ricarica molto differente, e conseguentemente danno origine a rocce con caratteristiche tessiturali, meccaniche e di significato ambientale molto differenti.

Le acque piovane, ricche di acido carbonico ( $\text{HCO}_3^-$ ) di origine meteorica ( $\text{CO}_2$  dissolto) e pedogenetica, circolando nel sottosuolo in circuiti profondi (geotermali) o relativamente superficiali

sorgente delle acque carsiche, normalmente minore di quella ambiente (di circa  $2^\circ \text{C}$  nel Carso dinarico: Horvatinčić *et al.*, 2003), è regolata dal percorso in sistemi di grotte areate e prive di luce. Sgorgando in superficie come soluzioni supersature calde (idrotermali) o fresche (carsiche) rispetto alla temperatura ambiente, depositano il carbonato di calcio in seguito alla decomposizione del bicarbonato e alla liberazione di  $\text{CO}_2$  per degassamento, evaporazione, raffreddamento. Questi e altri processi di tipo chimico-fisico sono controllati dalla concentrazione delle soluzioni, la velocità del flusso e l’eventuale concorso biologico, specialmente legato alla funzione clorofilliana della



**Fig. 9** - Travertino a lamine cristalline deposto da acque calde in evaporazione attiva e correnti con moto turbolento (a - Acqua Borra, Siena; b - Sorgente delle Zitelle, Viterbo).



**Fig. 10** - Stele etrusca con “iscrizione a ferro di cavallo” ricavata da una lastra di travertino a laminazione pianoparallela. Museo Archeologico “Ranuccio Bianchi Bandinelli” di Colle Val d’Elsa.

vegetazione presente lungo il corso delle acque. Infatti, anche se originariamente di provenienza meteorica, le acque carbonatate, attraverso differenti circuiti sotterranei: quello carsico e quello idro/geotermale più profondo, acquisiscono caratteristiche fisico-chimiche-biologiche contrastanti che vengono registrate oltre che dalle litologie anche dai valori degli isotopi stabili (Gandin & Capezzuoli, 2008) dei depositi che ne derivano. Il carbonio e l’ossigeno che compongono l’anidride carbonica atmosferica si trovano in miscela il cui rapporto  $\delta C^{13}/C^{12}$  e  $\delta O^{18}/O^{16}$  è noto e che mantengono anche nelle acque in cui la  $CO_2$  è disciolta se questa non subisce processi di frazionamento isotopico ovvero di variazione dell’abbondanza relativa naturale delle singole specie isotopiche. Il frazionamento isotopico, condizionato dalla temperatura e concentrazione salina delle acque e dai processi collegati, come evaporazione, degassazione o assorbimento metabolico da parte delle piante, induce variazioni discrete del rapporto isotopico. La variabilità del  $\delta^{18}O/^{16}O$  dipende essenzialmente dalla temperatura atmosferica o termale delle acque e in conseguenza dall’entità dell’evaporazione dell’isotopo leggero,

mentre quella del  $\delta^{13}C/^{12}C$  riflette l’entità del contributo di  $CO_2$  “leggera”, proveniente dall’atmosfera e dai suoli durante le piogge, alle acque da cui precipita la calcite. In conseguenza i valori del rapporto isotopico registrano la storia idrologica (circolazione e ricarica) climatica e/o idrotermale dell’acqua, e in definitiva le condizioni geoambientali al momento della deposizione.

Nella Toscana e in particolare nell’area meridionale (Valdelsa e area senese) si trova un’insolita e variata concentrazione di depositi calcarei continentali “antichi”, per lo più quaternari ma anche neogenici (messiniani: Bossio *et al.*, 1992; Gandin *et al.*, 2002). Questi calcari, nella vecchia cartografia geologica e frequentemente nella bibliografia internazionale (Cipriani *et al.*, 1972, 1977; Ferreri, 1985; Pentecost, 2005), sono stati raggruppati sotto il generico nome di “travertino” o talora denominati come “travertino termogenico” e “travertino meteogenico” (Pentecost & Viles 1994; Minissale *et al.*, 2002; Pentecost, 1995, 2005) senza però definirne le differenze in termini di caratteristiche litogenetiche.

Oggi, con l’aiuto dei progressi effettuati nello studio petrologico (Buccino *et al.*, 1978; D’Argenio *et al.*, 1983; Ferreri 1985; Brancaccio *et al.*, 1986; D’Argenio & Ferreri, 1988; Pedley, 1990; Carrara, 1991; Riding, 1991; Violante *et al.*, 1994; 1996; Guo & Riding, 1998), dei risultati dell’analisi comparata di sistemi attivi e dell’analisi critica dei dati isotopici (Capezzuoli & Gandin, 2004; Gandin & Capezzuoli, 2008; Pedley, 2009) è possibile distinguere le litofacies genetiche dei calcari antichi, e ricollegarle ai differenti sistemi deposizionali. La terminologia basata sui caratteri litogenetici e sostenuta dai dati geochimico/isotopici



**Fig. 11** - Rivestimento in *lapis tiburinum* della facciata esterna del Colosseo.



Fig. 12 - Colonnato in travertino di Gian Lorenzo Bernini in Piazza San Pietro.

tiene anche in considerazione l'uso storico del termine travertino e giustifica la nuova denominazione di *calcareous tufa* per i carbonati collegati geneticamente a sistemi carsici (Ford & Pedley, 1996; Pedley, 2009).

Travertino ha una connotazione genetica molto precisa in quanto si riferisce ad una pietra deposta e tuttora in formazione, in prossimità di sorgenti termali (Fig. 3). Utilizzata per scopi architettonici/ornamentali e funebri (Fig. 10) fin dai tempi degli etruschi nell'Etruria (Toscana e Lazio settentrionale: Gandin *et al.* 2006) questa pietra, compatta ma sufficientemente tenera per essere lavorata, è stata massicciamente estratta nei dintorni di Tivoli sia dai Romani imperiali sia dai loro successori ed usata per abbellire l'Urbe (Fig. 11) e la Roma papale (Fig. 12). Il suo nome, riportato da Plinio il Vecchio e da Strabone, deriva da *lapis tiburtinum*, ovvero pietra di Tibur (nome latino della città di Tivoli). Nei dintorni di Tivoli sono tuttora attive le sorgenti termali delle *Acquae albulae*, acque biancastre, intorbideate dalla continua precipitazione del carbonato di calcio che forma il travertino, usate dai romani per le loro terme (un esempio è Villa Adriana). Le particolari condizioni ambientali delle sorgenti termali si riflettono sulla struttura del travertino che è un materiale compatto, caratterizzato da una fitta e

regolare laminazione e dall'assenza quasi totale di resti di organismi (Fig. 13).

I carbonati continentali non termali derivati da acque dolci "fresche", di origine carsica che scorrono in sistemi fluvio-palustri (Fig. 4), sono stati distinti dal travertino, con il nome di *calcareous tufa* o tufa, termine che proviene dal latino *tophus* con cui Plinio indicava materiali da costruzione teneri (calcarei o vulcanici), spesso pulverulenti e di facile estrazione (Pedley, 1990; 2009; Ford & Pedley, 1996). Questa denominazione mette in evidenza le caratteristiche di questi calcari che si presentano mal stratificati, molto porosi, "terrosi" e generalmente poco omogenei per la presenza dei resti incrostati di una rigogliosa vegetazione (Fig. 14). Nonostante la qualità non molto pregiata, anche questo litotipo, localmente abbondante nell'area mediterranea, è stato utilizzato nel tempo in luoghi in cui nel territorio circostante non erano reperibili materiali più pregiati, come per esempio in Magna Grecia dove gli architetti greci hanno impiegato il *calcareous tufa* nella costruzione di templi come quelli di Segesta in Sicilia e di Paistos/Paestum in Campania (Violante & D'Argenio, 2000; Pedley 2009), oppure nella costruzione di opere di minore importanza e prezzo, dove il travertino è stato usato solo per le parti ornamentali della facciata (Fig. 15).

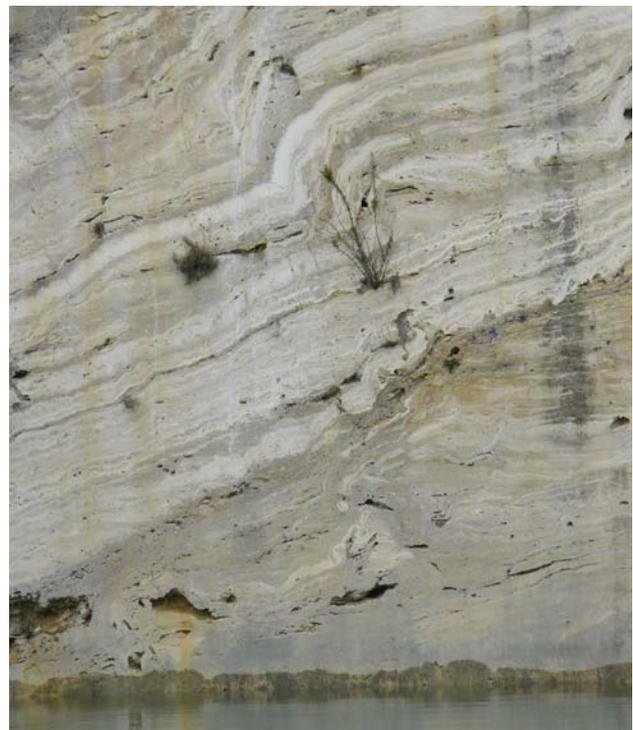


Fig. 13 - Fronte di una cava di travertino dell'area di Serre di Rapolano (Siena), nella quale sono ben visibili la stratificazione piano parallela e la laminazione regolare del deposito.



**Fig. 14** - *Calcareous tufa* mal stratificato e mal cementato, con caratteristici resti vegetali incrostati in concentrazioni fitoermali (Caerwys, nel Galles orientale).

## I travertini

Si formano intorno ad un sistema termale alimentato da acque calde supersature di bicarbonato di Ca provenienti da un circuito idrotermale/geotermale profondo. La circolazione ipogea è favorita da faglie beanti distensive che facilitano la cir-



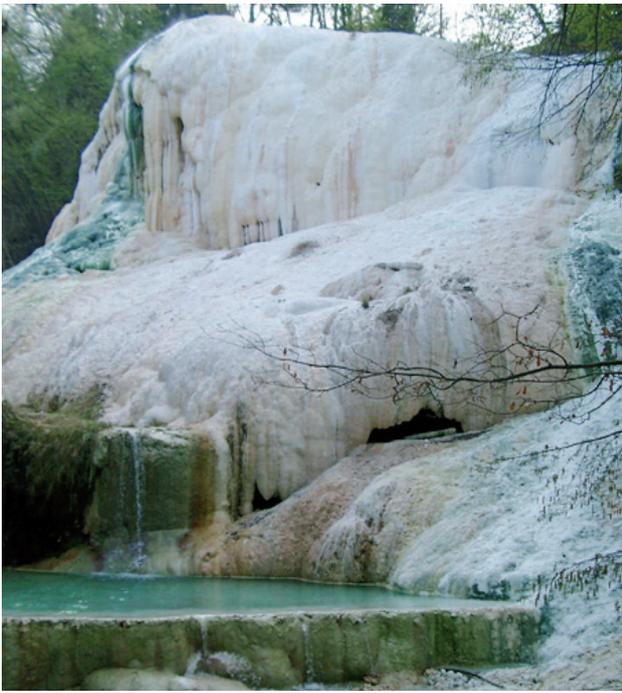
**Fig. 15** - Facciata del Palazzo Tolomei in Asciano (Siena). La struttura portante, di colore giallastro, è costruita con blocchetti di *calcareous tufa*, mentre il rivestimento del piano nobile con bifore, di colore bianco, è in travertino.

colazione in profondità. Le acque che risalgono riscaldate sia per il gradiente geotermico sia per l'eventuale presenza di corpi magmatici, contengono in soluzione CO<sub>2</sub> in parte di origine meteorica e/o magmatica, in parte riciclata che mantiene cioè, l'impronta geochimica ereditata da carbonati e/o evaporiti del substrato (Altunel & Hancock, 1993; Altunel, 2005; Brogi *et al.*, 2005; Brogi & Capezzuoli, 2008; Gandin & Capezzuoli, 2008).

Le principali caratteristiche sedimentologiche del *travertino* sono state riconosciute e descritte sia in depositi "antichi" sia in depositi in formazione, soprattutto in località italiane dell'area Tosco-Laziale: Rapolano Terme (Barazzuoli *et al.*, 1988; Folk *et al.*, 1985; Guo & Riding, 1992, 1994, 1998, 1999), Tivoli (Chafetz & Folk, 1984), Viterbo-Le Zitelle (Folk, 1994) e Bagno Vignoni (Pentecost, 1994), o anche in Turchia (Pamukkale).

Un esempio molto istruttivo di travertino antico e in formazione può essere osservato rispettivamente nell'area di Serre di Rapolano e intorno alle Terme di San Giovanni presso Rapolano Terme (Siena).

I travertini sono carbonati compatti per lo più cristallini, ben stratificati e fittamente laminati. Essi si originano esclusivamente nelle vicinanze di sorgenti idrotermali dove gli alti tassi di accrescimento stimato intorno ai 10-80 mm/anno (Pentecost, 2005), sono condizionati dall'evaporazione veloce, raffreddamento e degassamento delle acque. Nelle zone prossimali la fuoriuscita e lo scorrimento di acque calde supersature in carbonato di calcio determina la formazione di peculiari



**Fig. 16** - Sistema termale di Bagni San Filippo (Siena): cristalli aciculari raggruppati a ventaglio (*crystal fans*) formano una lamina cristallina accresciutasi lungo il pendio ripido del fronte di cascata.

croste cristalline formate da ventagli di cristalli raggiati (*crystal fan*: Folk *et al.*, 1985) (Fig. 16), o da cristalli a forma di piuma (*feather calcite*: Guo & Riding, 1994) (Fig. 17) mentre nelle porzioni più distali e nelle zone di ristagno delle acque), alle lamine cristalline si trovano associate lamine batteriali/cianobatteriali (Fig. 18). Le lamine cristalline ed altre strutture come le bolle di gas incrostate da un sottilissimo velo di calcite (Fig. 19) e le vasche sospese con microterrazzi (Fig. 20) che si formano sulle superfici di scorrimento a bassa turbolenza, sono strutture esclusive dell'ambiente idrotermale.

Nel sistema termale, la precipitazione avviene in prossimità di sorgenti con acque molto concentrate e ricche di CO<sub>2</sub> che sgorgano dal sottosuolo a

temperatura maggiore o uguale di quella ambiente e spesso contengono gas e composti tossici (H<sub>2</sub>S, HCl). Il carbonato di calcio si deposita per lo più intorno alle bocche di fuoriuscita delle acque, costruendo una varietà di edifici a cono o a dorsale, talora risultante dalla coalescenza dei cono più piccoli (Fig. 9, 21). Scorrendo lungo le vie di drenaggio, in funzione dell'energia e turbolenza delle acque che allontanandosi dalla sorgente si raffreddano gradualmente, si formano vaschette sospese lungo le pareti delle cascate (Fig. 20), vasche sbarrate da bordi arcuati, di tutte le dimensioni, oppure caratteristici canali sospesi (Fig. 21).

Osservando i depositi in formazione intorno a sistemi idrotermali attivi come quello di San Giovanni a Rapolano od altri più complessi che si trovano in Toscana (Bagno Vignoni, Bagni San Filippo, Saturnia), in Alto Lazio (Bulicame a Viterbo) o anche in Turchia (Pamukkale) si può



**Fig. 17** - Terme di San Giovanni a Rapolano (Siena): cristalli composti a forma di piuma (*feather calcite*) formano lamine localmente subverticali, le quali si accrescono lungo i fianchi del rilievo.



**Fig. 18** - Comunità di batteri/cianobatteri termofili in una piccola vasca temporanea in cui si raccolgono acque termali tiepide. Gli aggregati di cellule filamentose sono contenuti in una sostanza mucillaginosa trasparente (EPS) che intrappola rari cristalli di calcite.



**Fig. 19** - Bolle di gas, in parte da degassazione inorganica e in parte da attività organica, incrostate da un sottilissimo velo di calcite (a - Terme di Petriolo, Grosseto; b - Sorgente delle Zitelle, Viterbo)

notare come la caratteristica comune degli edifici travertinosi attivi è il colore bianco uniforme dei sedimenti più recenti (Fig. 21) e la totale assenza di vita nelle immediate vicinanze delle sorgenti (*white desert*: Capezzuoli & Gandin, 2005). Questa caratteristica peculiare può essere attribuita a condizioni che impediscono ad ogni forma di vita di colonizzare le superfici di deflusso dell'acqua termale sia a causa della velocità di sedimentazione sia per le proprietà

tossiche delle acque ancora molto calde e ricche di gas/ioni in soluzione.

Solfobatteri e batteri termofili si possono trovare in ambienti riparati come i bordi dei canali o in pozze e piccole vasche (Fig. 18) sono le uniche forme di vita che sopportano condizioni estreme dovute alla combinata azione di composti tossici in soluzione ( $H_2SO_4$ ;  $H_2S$ ) e l'alta temperatura delle acque. La maggior parte delle macrofite e le briofite (muschi) non sopportano temperature



**Fig. 20** - Vasche sospese, formatesi su superfici di scorrimento a bassa turbolenza, con microterrazzi contenenti localmente "infiorescenze" (*shrubs*) di calcite (Terme di San Giovanni a Rapolano).



**Fig. 21** - Depositi carbonatici formati intorno alla fuoriuscita delle acque, a cono singolo o a dorsale risultante dalla coalescenza di coni più piccoli (Terme di San Giovanni), oppure, lungo le vie di drenaggio, a forma di dighe a mezzaluna che individuano vasche più o meno profonde (Saturnia in Toscana e Pamukkale in Turchia) o di canali rialzati (Pamukkale).

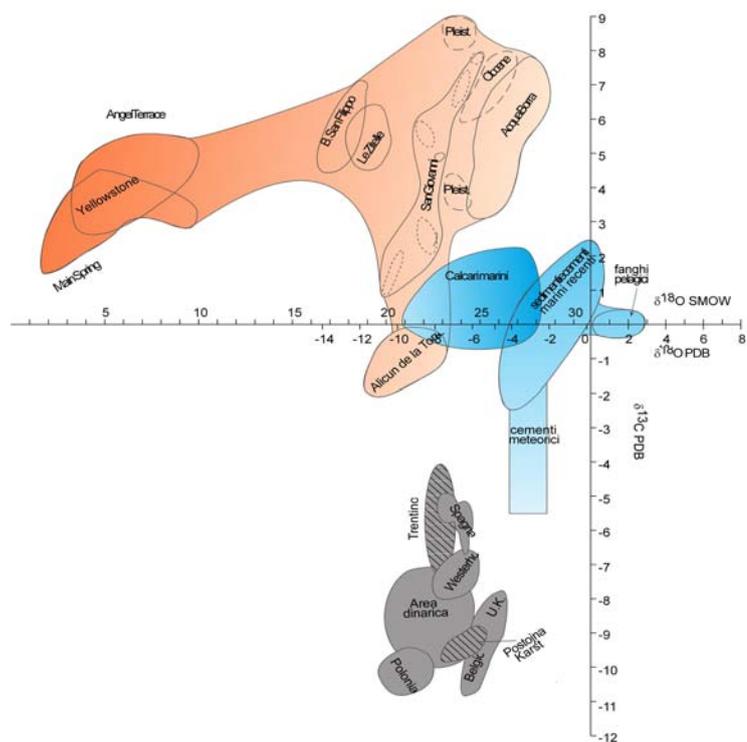
maggiori di 20°C e le piante superiori pioniere come i giunchi, si sviluppano solo quando le acque si raffreddano e si diluiscono.

L'analisi dettagliata delle litofacies e dei dati geochimici relativi agli isotopi stabili del carbonio e dell'ossigeno dei travertini in formazione in alcune regioni della terra (Fig. 22), mostra che i valori isotopici del rapporto  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  sono negativi in relazione alla temperatura delle acque mentre quelli del rapporto  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  sono positivi, derivando da acque povere di carbonio "leggero" di origine atmosferica. Questi valori quindi non danno informazioni di natura climatica ma registrano le condizioni geotermali delle acque madri (Gandin & Capezzuoli, 2008).

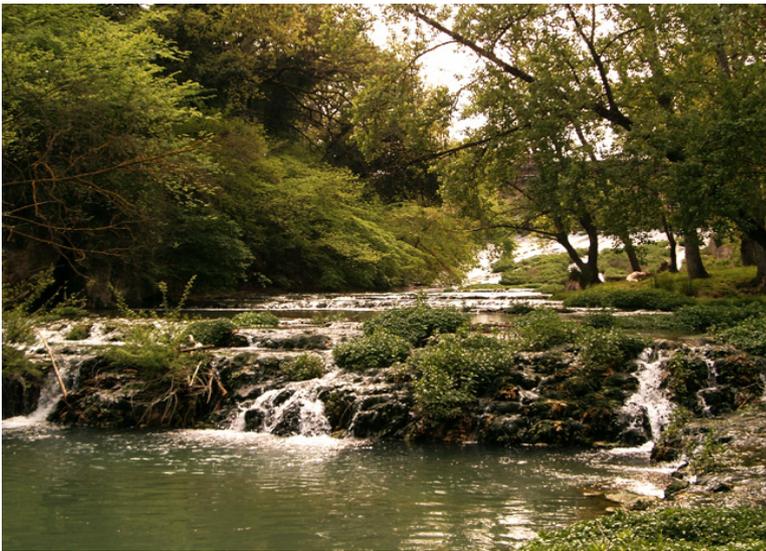
### I calcareous tufa

Si formano intorno ad un sistema fluvio-palustre alimentato da acque di origine meteorica, ricche di carbonato di calcio acquisito durante la circolazione attraverso rocce calcaree, in un circuito

carsico poco profondo, che sgorgano alla sorgente a temperatura generalmente inferiore di quella



**Fig. 22** - Campo di variabilità degli isotopi stabili (C e O) dei carbonati continentali in formazione in sistemi termali (in alto) e in sistemi carsici (in basso), confrontati con quelli relativi ai carbonati marini attuali e fossili (da Gandin & Capezzuoli, 2008, modificato).



**Fig. 23** - Parco del Diborrato: “gradinata” di cascatelle lungo il corso del Fiume Elsa. La precipitazione del carbonato di calcio avviene nei punti in cui, a causa dalla presenza di piante o di un salto, il flusso viene ostacolato e si genera un moto idrico turbolento che favorisce la perdita di CO<sub>2</sub>.



**Fig. 25** - Parco del Diborrato: fitoerma costituita dall’incrostazione di cianobatteri filamentosi da parte del carbonato di calcio.

ambiente. Le condizioni ambientali generali sono influenzate dalla disponibilità di acqua e quindi dalla piovosità e infine dal clima.

Le principali caratteristiche sedimentologiche del *calcareous tufa* sono state riconosciute e descritte soprattutto in depositi “antichi” in località italiane dell’area Laziale-Campana-Molisana (Buccino *et al.*, 1978; D’argenio *et al.*, 1983; Ferreri 1985; Brancaccio *et al.*, 1986; D’Argenio& Ferreri, 1988; Carrara, 1991; Violante *et al.*, 1994;1996), in Europa settentrionale (Pedley 1990; Ford & Pedley, 1996) e in Spagna (Pedley *et al.*, 2003). Al contrario depositi in formazione lungo il percorso fluviale o associati a cascate sono poco studiati, ma in Toscana presso Colle Val d’Elsa (Siena), lungo il corso del fiume Elsa intorno al parco naturale del Diborrato, si trova un



**Fig. 24** - Parco del Diborrato: fitoerma costituita dall’incrostazione di briofite (muschi) da parte del carbonato di calcio.

esempio molto istruttivo di *calcareous tufa* antichi e in formazione (Capezzuoli *et al.* 2007).

I *calcareous tufa* sono depositi generalmente porosi mal stratificati, contenenti abbondanti tracce di macrofite e invertebrati. Essi sono composti principalmente da calcite microcristallina di precipitazione abiotica e/o biotica che forma biolititi fitoermali e/o stromatolitiche (Fig. 14) o accumuli fitoclastici che riflettono ambienti deposizionali fluvio-palustri con acque carbonatate derivanti da sistemi carsici. La deposizione, in genere lenta e con bassi tassi di accrescimento, è principalmente con-

trollata dalla rimozione meccanica (vaporizzazione/evaporazione) e biologica (fotosintetica) della CO<sub>2</sub> da acque correnti o stagnanti. Tale processo risulta ovviamente condizionato dalla disponibilità di acqua meteorica e, di conseguenza, dalle condizioni climatiche per cui depositi di questo tipo sono ampiamente diffusi nelle aree a clima umido temperato (Pedley, 2009 *cum bibl.*). Queste acque acquisiscono ioni Ca<sup>++</sup> in seguito ad un percorso in ambiente carsico, più raramente sono acque termali raffreddate e mescolate con acque piovane, e sgorgano ad una temperatura uguale o minore di quella ambiente ed una concentrazione di ioni molto minore rispetto a quella delle acque termali. In questo ambiente ricco di acqua scorrente si sviluppa una vegetazione lussureggiante sia sulle sponde sia sui rilievi presen-



**Fig. 26** - *Calcareous tufa* nei pressi di Poggibonsi. Fitoclasti rappresentati dai manicotti di incrostazione di steli di piante acquatiche accumulati dal flusso della corrente.

ti nel letto del fiume contribuendo a formare ostacoli al flusso dell'acqua (Fig. 23). La precipitazione del carbonato di calcio avviene nei punti in cui, a causa di un ostacolo o di un salto, l'acqua assume un moto turbolento e la vaporizzazione ed evaporazione dell'acqua favorisce la perdita di CO<sub>2</sub>. Si formano così, incrostazioni e "manicotti" micro e macrocristallini intorno agli steli dei vegetali acquatici (Fig. 5) finché i cespugli di giunchi o i cuscini di muschi (Fig. 24) o di filamenti cianobatteriali (Fig. 25) sono totalmente incrostati e pietrificati dando origine a edifici fitoermali o stromatolitici (Fig. 8) massicci e rigidi. Frammenti degli steli incrostati (fitoclasti) accumulati (Fig. 26) da flussi di piena a maggiore energia, si trovano associati alle biocostruzio-



**Fig. 28** - Alta cascata del Fiume Meandro in Turchia, con "cuscini" di muschi in corso di incrostazione.



**Fig. 27** - Parco del Diborrato: piccola diga individuante una vasca nel letto del Fiume Elsa.

ni. Con il tempo le due facies, formano sbarramenti trasversali al flusso (*dams*) e delimitano verso monte vasche (Fig. 27) più o meno grandi in cui si sviluppa una regolare sedimentazione di fanghi e sabbie fitoclastiche. Depositi incrostanti a impalcatura fitoermale simili ma con differente distribuzione areale si formano lungo il fronte di cascate (Fig. 28) mentre in ambienti palustri dominano i sedimenti mobili, fanghi micritici e sabbie intraclastiche spesso ricche di resti di alghe caracee (Fig. 29) e diatomee.

L'analisi dettagliata delle litofacies e dei dati geochimici relativi agli isotopi stabili del carbonio e dell'ossigeno dei *calcareous tufa* in formazione nell'Europa centro settentrionale (Fig. 22), mostra che il campo di distribuzione dei valori isotopici  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  è negativo. Questa distribuzione, caratteristica di acque contenenti CO<sub>2</sub> "leggero" in parte di origine meteorica in parte derivato dai suoli attraversati dalle acque, registra i fattori del clima (piovosità/ $\delta^{13}\text{C}$  e temperatura/ $\delta^{18}\text{O}$ ) al momento della deposizione dei carbonati (Gandin & Capezuoli, 2008).



**Fig. 29** - Parco di Plitvice: accumulo di steli e oogoni di alghe characee sulle sponde delle anse riparate dei corsi d'acqua.

## Conclusioni

I sistemi deposizionali termali e carsico-fluvio/palustre si formano in ambienti geomorfologici diversi, alimentati da acque di falda per lo più di origine meteorica ma con una storia di circolazione e ricarica molto differente. Essi si differenziano tra loro essenzialmente per due fattori, il contenuto e la concentrazione dei sali in soluzione e la temperatura delle acque correnti, i quali dipendono dalla profondità del circuito sotterraneo e dalle interazioni dei fluidi circolanti

Nei sistemi deposizionali termali la precipitazione avviene in prossimità di sorgenti con acque molto concentrate e ricche di CO<sub>2</sub> che sgorgano dal sottosuolo a temperatura maggiore o uguale di quella ambiente. Le acque provenienti da circuiti ipogei a temperatura più o meno alta in funzione della profondità raggiunta, e/o della presenza di eventuali fonti di calore endogene, risalgono e scaturiscono attraverso faglie/fratture ben strette controllate dalla tettonica di tipo estensionale. In questo caso la precipitazione della calcite avviene essenzialmente per evaporazione e raffreddamento dell'acqua che sgorga, e per la contemporanea degassazione della CO<sub>2</sub>. Il precipitato è essenzialmente cristallino ed abiotico. La temperatura e la composizione salina delle acque impediscono lo sviluppo della vegetazione. Solo i batteri termofili, i solfobatteri e i cianobatteri, le forme biologiche più primitive, sopravvivono in tali condizioni ambientali (Capezzuoli & Gandin, 2004; Gandin & Capezzuoli, 2008). Il paesaggio circostante la sorgente non condiziona né è direttamente influenzato dalla deposizione. Una faglia si può formare in qualsiasi paesaggio e con qualsiasi clima, dato che la provenienza dell'acqua prevalentemente endogena non è strettamente collegata alla piovosità locale.

Nei sistemi carsico-fluvio/palustri, il carbonato di calcio, meno concentrato, precipita ad una temperatura uguale o minore di quella ambiente, essenzialmente nei punti in cui una forte turbolenza delle acque, induce vaporizzazione ed evaporazione e quindi perdita di CO<sub>2</sub>. Le condizioni ambientali e particolarmente l'abbondante disponibilità di acqua favoriscono lo sviluppo della vegetazione che contribuisce essenzialmente come supporto passivo alla deposizione del carbonato. La precipitazione della calcite incrosta la rigogliosa vegetazione solitamente presente che a sua volta è controllata dal clima locale o globale e/o

dall'eventuale intervento antropico (Cilla *et al.*, 1994; Andrews *et al.*, 1997, 2006; Dramis *et al.*, 1999; Violante & D'Argenio, 2000). In questo caso la deposizione di carbonati implica una notevole disponibilità di acqua di origine meteorica che proveniente da un circuito carsico, va ad alimentare corsi d'acqua epigei e ad incrementare una rigogliosa vegetazione.

Agli effetti dell'interpretazione paleoambientale e paleogeografica quindi, il riconoscimento di travertini antichi documenta l'esistenza di un'attività tettonica di tipo distensivo che favorisce la risalita di acque termali ovvero la storia neotettonica dell'area (Altunel & Hancock, 1993; Altunel, 2005; Brogi, & Capezzuoli, 2008; Brogi, 2005), mentre i *calcareous tufa* fossili forniscono indicazioni sulle caratteristiche paleoambientali e sulla disponibilità di acqua in rapporto alle condizioni climatiche globali o locali, esistenti durante la deposizione (Pedley 1990, 2009; Carrara *et al.*, 1998).

Questi risultanti sono anche sostenuti dalla distribuzione dei valori del rapporto degli isotopi stabili ( $\delta^{13}\text{C} - ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) che ricadono in campi di variabilità caratteristici che sono funzione dei fattori fisico-chimici e biologici delle acque durante la deposizione (Capezzuoli & Gandin, 2005; Gandin & Capezzuoli, 2008).

I travertini e i *calcareous tufa* sono quindi calcari continentali con caratteri litogenetici e chimico-isotopici ben differenziati che applicati a sedimenti antichi non più connessi con le sorgenti generatrici, possono contribuire alla definizione delle condizioni originali di deposizione, prevalentemente controllate dal clima o dall'assetto geotettonico, e quindi a ricostruzioni paleoambientali e paleogeografiche sufficientemente attendibili del recente passato.

## Testi citati

Andrews J.E. (2006) - *Paleoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review*. Earth-Science Reviews, 75: 85-104.

Andrews J.E., Riding R. & Dennis P.F. (1997) - *The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe*. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., 129: 171-189.

Altunel E. (2005) - *Travertines: neotectonic indicators*. In: *Proceedings of 1st International*

*Symposium on Travertine, September 21-25, 2005, Pamukkale University, Denizli Turkey* (Ozkul M., Yagiz S. & Jones B. eds) 120-127, Kozan Offset, Ankara.

Altunel E. & Hancock P.L. (1993) – *Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey*. Zeitschrift f. Geomorphologie N.F., 94: 285-302.

Barazzuoli P., Costantini A., Fondi R., Gandin A., Ghezzi C., Lazzarotto A., Micheluccini M., Salleolini M. & Salvadori L. (1988) – *I travertini di Rapolano sotto il profilo geologico e geologico-tecnico*. In: CO L I V. (a cura di): *Il Travertino di Siena*, Ed. Al.Sa.Ba Grafiche, Siena, 26-35.

Bossio A., Cerri R., Costantini A., Gandin A., Lazzarotto A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1992) – *Il bacino di Volterra: stop 3.4*. In: *I bacini distensivi neogenici e quaternari della Toscana. Guida alle Escursioni post-congresso*. 76° Riunione estiva SGI: l'Appennino settentrionale. Escursione B4, 244-270; stop 3.4, 261-262

Brancaccio L., D'Argenio B., Ferreri V., Preite Martinez M., Stanzione D. & Turi B. (1986) – *Caratteri tessiturali e geochimica dei travertini di Rocchetta a Volturno (Molise)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 105: 265-277.

Brogi, A. & Capezzuoli, E. (2008) – *Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy)*. International Journal of Earth Science (Geol. Rundsch.), DOI 10.1007/s00531-007-0290-z

Brogi A., Capezzuoli E., Costantini A., Gandin A. & Lazzarotto A. (2005) – *Tectonics and travertine relationships in the Rapolano Terme area (Northern Apennines, Italy)*. In: *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, September 21-25, 2005, Pamukkale University, Denizli Turkey* (Ozkul M., Yagiz S. & Jones B. eds), 142-148, Kozan Offset, Ankara.

Buccino G., D'Argenio B., Ferreri V., Brancaccio L., Ferreri M., Panichi C. & Stanzione D. (1978) – *I travertini della bassa Val Tanagro (Campania): studio geomorfologico, sedimentologico e geochimico*. Boll. Soc. Geol. It., 97: 617-646.

Capezzuoli E. & Gandin A. (2004) – *I "travertini" in Italia: proposta di una nuova nomenclatura basata sui caratteri genetici*. Italian Journal of Quaternary Science, 17 (2/1): 273-284.

Capezzuoli E. & Gandin A. (2005) – *Facies*

*distribution and microfacies of thermal-spring travertine from Tuscany*. In: *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, September 21-25, 2005, Pamukkale University, Denizli Turkey* (Ozkul M., Yagiz S. & Jones B. eds), 43-50, Kozan Offset, Ankara.

Capezzuoli E., Costantini E.A.C., Priori S. & Sandrelli F. (2007) – *Stratigraphic aspects from the Middle Pleistocene continental deposits of the southern Valdelsa Basin*. Rendiconti della Società Geologica Italiana, Nuova Serie, 5: 95-99.

Carrara C. (1991) – *Travertine deposits of the middle Liri valley (central Italy): geomorphological, sedimentological and paleoclimatic implications*. Italian Journal of Quaternary Science, 4: 55-84.

Chafetz H.S. & Folk R.L. (1984) – *Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents*. Journal of Sedimentary Petrology, 54: 289-316.

Chafetz H.S. & Guidry S.A. (1999) – *Bacterial shrubs, crystal shrubs, and ray-crystal shrubs: bacterial vs. abiotic precipitation*. Sedimentary Geology, 126: 57-74.

Cilla G., Coltorti M. & Dramis F. (1994) – *Holocene fluvial dynamics in mountain areas: the case of the river Esino (Appennino Umbromarchigiano)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 17: 163-174.

Cipriani N., Ercoli A., Malesani P. & Vannucci S. (1972) – *I travertini di Rapolano Terme (Siena)*. Mem. Soc. Geol. It., 11: 31-46.

Cipriani N., Malesani P. & Vannucci S. (1977) – *I travertini dell'Italia centrale*. Boll. Serv. Geol. d'It., 98: 85-115.

D'Argenio B. & Ferreri V. (1988) – *Ambienti deposizionali e litofacies dei travertini quaternari dell'Italia centro-meridionale*. Memorie della Società Geologica Italiana, 41: 861-868.

D'Argenio B., Ferreri V., Stanzione D., Brancaccio L. & Ferreri M. (1983) – *I travertini di Pontecagnano (Campania): geomorfologia, sedimentologia, geochimica*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 102: 123-136.

Dramis F., Materazzi M. & Cilla G. (1999) – *Influence of climatic changes on freshwater travertine deposition: a new hypothesis*. Physics and Chemistry of the Earth (A), 24 (10): 893-897.

Ferreri V. (1985) – *Criteri di analisi di facies e classificazione dei travertini pleistocenici dell'Italia Meridionale*. Rend. Acc. Scienze Fis. e Mat. Napoli, 52: 1-47.

- Folk R. (1994) - *Interaction between bacteria, nannobacteria, and mineral precipitation in hot spring of Central Italy*. Geogr. Phis. et Quaternaire, 48(3) : 233-246.
- Folk R.L., Chafetz H.S. & Tiezzi P.A. (1985) – *Bizarre forms of depositional and diagenetic calcite in hot-spring travertines, central Italy*. In: *Carbonate Cements* (Scheidemann N. & Harris P. eds), SEPM, 36: 349–369.
- Ford T.D. & Pedley H.M. (1996) – *A review of tufa and travertine deposits of the world*. Earth Science Review, 41: 117-175.
- Freytet P. & Plaziat J.C. (1982) – *Les formations stromatolitiques (tufs calcaires) récentes de la région de Tournus (Saône et Loire)*. Geobios, 24 : 123-139.
- Gandin A., Capezzuoli E. & Ciacci A. (2006) – *The stone of the Etruscan inscribed steles from the Valdelsa area (Siena, Italy)*. In: *Geomaterials in Cultural Heritage* (Maggetti M. & Messiga B. eds.), Geological Society, London, Special Publications, 257: 273-282.
- Gandin A., Capezzuoli E. & Sandrelli F. (2002) – *A Messinian hot-spring travertine system and its modern analogue at Rapolano in Southern Tuscany, Italy*. 16<sup>th</sup> I.A.S. Congress, Abstract Volume, 110.
- Gandin A. & Capezzuoli E. (2008) – *Travertine versus Calcareous tufa: distinctive petrologic features and related stable isotopes signature*. Italian Journal of Quaternary Sciences, 21(B): 125-136.
- Guo L. & Riding R. (1992) – *Micritic aragonite laminae in hot water travertine crust, Rapolano Terme*. Sedimentology, 39: 1067-1079.
- Guo L. & Riding R. (1994) – *Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub facies, Rapolano Terme, central Italy*. Sedimentology, 41: 499-520.
- Guo L. & Riding R. (1998) – *Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy*. Sedimentology, 45: 163-180.
- Guo L. & Riding R. (1999) – *Rapid facies change in Holocene fissure ridge hot spring travertines, Rapolano Terme, Italy*. Sedimentology, 46: 1145- 1158.
- Horvatinčić N., Bronić I.K. & Obelić B. (2003) – *Differences in the  $^{14}\text{C}$  age,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of Holocene tufa and speleothems in the Dinaric Karst*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 193: 139–157.
- Minissale A., Kerrik D., Magro G., Murrell M.T., Paladini S., Rihs S., Sturchio N., Tassi F. & Vaselli O. (2002) - *Structural hydrogeological chemical and climatic parameters affecting the precipitation of travertines in the Quaternary along the Tiber valley, north of Rome*. Earth Planet. Sci. Lett., 203: 709-728.
- Nikel E. (1983) – *Environmental significance of freshwater oncoids, Eocene Guarga Formation, southern Pyrenees, Spain*. In: *Coated grains* (Peryt T. ed), 308-329. Springer-Verlag, Berlin.
- Pedley M. (1990) – *Classification and environmental models of cool freshwater tufas*. Sedimentary Geology, 68: 143-154.
- Pedley M. (2009) – *Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments*. Sedimentology, 56: 221-246.
- Pedley M., Gonzalèz Martín J. A., Ordoñez Delgado S. & Garcia Del Cura M.A. (2003) – *Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain*. Sedimentology, 50: 23-44.
- Pentecost A. (1995) – *The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor*. Quaternary Science Reviews, 14: 1005-1028.
- Pentecost A. (2005) – *Travertine*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Pentecost A. & Viles H.A. (1994) – *A review and reassessment of travertine classification*. Geographie physique et Quaternaire, 48: 305-314.
- Riding R. (1991) – *Classification of Microbial Carbonates*. In: *Calcareous algae and stromatolites* (Riding R. ed), 21-51, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Violante C. & D'argenio B. (2000) - *I travertini alle origini e nel declino dell'antica città di Poseidonia – Paestum (2500-1000 a. prima del presente)*. Convegno GEOBEN, Torino, 7-9 Giugno 2000, pp. 8.
- Violante C., Ferreri V., D'Argenio B. & Golubic S. (1994) – *Quaternary travertines at Rocchetta a Volturno (Isernia, Central Italy). Facies analysis and sedimentary model of an organogenic carbonate system*. I.A.S. 15<sup>th</sup> Reg. Meet., April, 1994, Ischia, Guide book to the field trip, 3-23.
- Violante C., Ferreri V. & D'Argenio B. (1996) – *Modificazioni geomorfiche controllate dalla deposizione di travertino*. Il Quaternario, 9 (1): 213-216.

# I cambiamenti delle dinamiche costiere e la nascita della Laguna di Orbetello

Silvia Ravani \*, Mauro Coltorti\*

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 - 53100 Siena  
ravani@unisi.it, coltorti@unisi.it

*Nel contesto evolutivo del paesaggio, il settore costiero è particolarmente dinamico in quanto sede di molteplici fattori interattivi, legati pe lo più al moto delle onde e correnti marine ed a quello delle acque fluviali. Il settore è particolarmente sensibile anche ai cambiamenti climatici globali, in quanto ogni aumento della temperatura media atmosferica e la conseguente fusione delle calotte glaciali avranno come conseguenza un progressivo innalzamento del livello del mare. Inoltre, trasformazioni più o meno importanti sono legate alla qualità e quantità di sedimenti che raggiungono il sistema o escono dal medesimo, la maggior parte dei quali è fornita dai fiumi anche in funzione dell'entità della copertura vegetale presente nei loro bacini: entità soggetta a variare per cause sia naturali che antropiche. Per avere un quadro attendibile di possibili futuri scenari di pericolosità, è dunque necessario tener conto dei vari fattori che presiedono all'evoluzione del paesaggio costiero e saperne "leggere" i contributi dallo studio geomorfologico del medesimo.*

## Introduzione

Nel corso del tempo il paesaggio toscano è stato soggetto a profondi mutamenti, particolarmente intensi nelle aree costiere dove le dinamiche fluviali interagiscono con quelle litorali. Nel Pleistocene superiore glaciale, oltre 10.000 anni fa, i fiumi erano carichi di detrito e mostravano in genere un percorso a canali intrecciati; inoltre, le foci si raccordavano al bordo della piattaforma continentale a livelli del mare molto più bassi dell'attuale (ca. -130 m s.l.m.). Nel post-glaciale, a causa del generale miglioramento climatico e della

progressiva riforestazione dei versanti, la quantità di sedimenti trasportati dai fiumi è bruscamente diminuita permettendo lo sviluppo di tracciati sinuosi (Coltorti, 1997). In tempi più recenti, a seguito dell'erosione del suolo conseguente alla deforestazione, i sedimenti sono nuovamente aumentati interagendo con un livello del mare prossimo a quello attuale.

La geomorfologia della pianura costiera dell'Albegna e quella della limitrofa Laguna di Orbetello riflettono con evidenza tutti questi cambiamenti. In quest'area sono inoltre presenti complesse e ricche testimonianze archeologiche le quali permettono di



**Fig. 1** - Vista panoramica dal Monte Argentario della Laguna di Orbetello (foto Marco Solari: Studio Fotografico Controluce, [www.fotocontroluce.com](http://www.fotocontroluce.com)).

scandire le varie fasi di occupazione e di sfruttamento del territorio. Poiché l'evoluzione del paesaggio condiziona le relazioni uomo-ambiente, le suddette testimonianze possono fornire preziose indicazioni cronologiche per datare forme e sedimenti superficiali, stimolando altresì le sinergie necessarie per impostare una corretta strategia di ricerca archeologica. D'altra parte, la conoscenza delle dinamiche passate e dei fattori che le hanno condizionate fino a determinare la situazione attuale, consentirà di suggerire ragionevoli previsioni circa le tendenze evolu-



**Fig. 2** - Vista panoramica della pianura costiera dell'Albegna. L'Aurelia delimita grosso modo l'area delle antiche paludi rispetto ai cordoni litorali, alla cui sommità sono presenti resti insediativi del XII sec. a.C. Sullo sfondo sono visibili la Laguna di Orbetello con l'omonimo tombolo, il cordone litorale della Feniglia ed il Monte Argentario (foto Marco Solari).



**Fig. 3** - Canale di Nassa e tombolo della Giannella (foto Marco Solari).

tive future. In questo articolo sono illustrati i cambiamenti delle dinamiche ambientali dell'area di Orbetello dalla fine del Pleistocene ad oggi.

### **Inquadramento geografico**

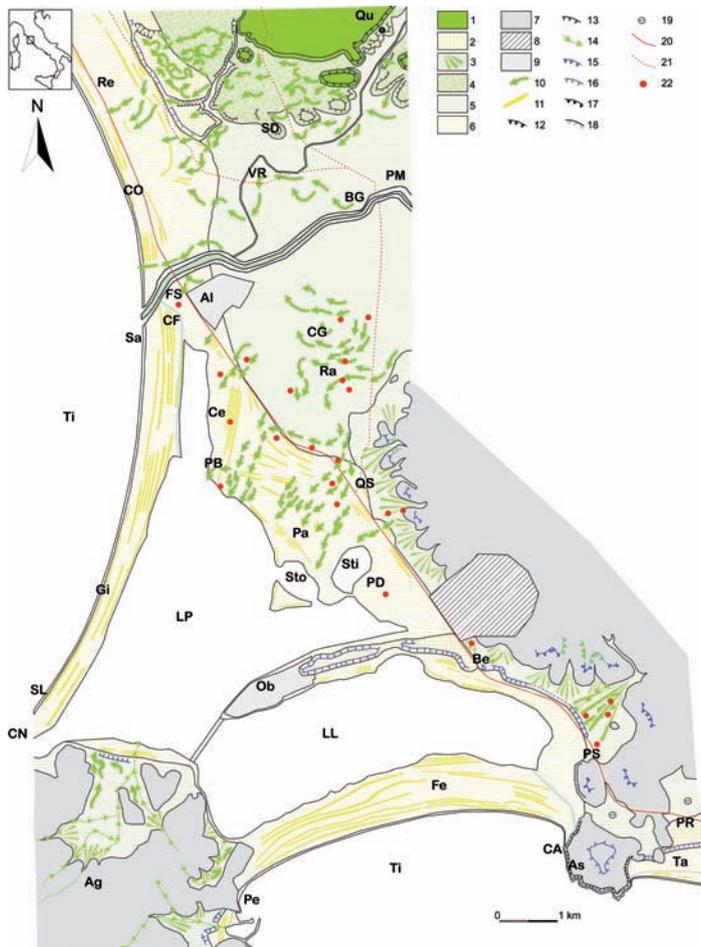
L'area esaminata abbraccia la fascia costiera comprendente la pianura dell'Albegna, la Laguna di Orbetello e il Promontorio di Ansedonia (Fig. 1). La laguna si estende per 27 km<sup>2</sup> ed è delimitata a nord-ovest dal Tombolo della Giannella, a sud-est dal Tombolo della Feniglia e ad ovest dal Monte Argentario. Il Tombolo della Giannella si sviluppa approssimativamente in direzione nord-sud per una lunghezza di circa 6 km e per un'ampiezza che decresce da circa 750 m nei pressi della foce dell'Albegna a circa 350 m in prossimità dell'Argentario. Esso è coperto in prevalenza da una vegetazione mista di

macchia mediterranea e solo in parte da aree coltivate. Il Tombolo della Feniglia, che fino al '700 era interamente coperto da boschi a latifoglie caratteristici della macchia mediterranea, ha una tipica forma a mezzaluna, si estende in direzione ovest-est per una lunghezza di circa 6 km ed ha un'ampiezza massima di circa 1 km. Un terzo "tombolo", su cui sorge la cittadina di Orbetello, si protende verso il centro della laguna e prosegue con la Diga Leopoldiana, costruita nel 1842, la quale collega la città all'Argentario dividendo la laguna nei due settori di Ponente e di Levante (Figg. 1-4). La diga ha varie aperture che permettono lo scambio idrico tra i due specchi d'acqua, la cui sopravvivenza dipende dalle opere di drenaggio e dalla loro continua manutenzione.

Agli inizi del 1800 lo sfruttamento intensivo del suolo per il pascolo e dei boschi per il legname ha causato un'intensa deforestazione dei versanti. La conseguente forte sedimentazione costiera registrata in larga parte d'Italia (Coltorti, 1997; Bellotti, 2000; Pranzini, 2004) ha avuto gravi conseguenze per la laguna, isolandola progressivamente dal mare aperto. Per evitare il suo completo isolamento furono costruiti tre canali di sbocco: di Fibia o delle Saline, di Nassa (sovrapposto ad un'antica bocca naturale) (Fig. 3) e di Ansedonia. Agli inizi del '900 la Feniglia divenne parte del Demanio Forestale, venne rimboschita ed è oggi Riserva Forestale di Protezione.

### **Cenni sulla geologia del territorio**

Nell'area di studio affiorano le unità Toscane sia metamorfiche che non-metamorfiche, cartografate complessivamente come "basamento prepliocenico" (Fig. 4). Le unità non-metamorfiche sono costituite da calcari e calcari dolomitici triasici (Formazione del Calcare cavernoso), quelle metamorfiche da filladi, meta-conglomerati e quarziti (Formazione della Verruca, Anageniti grossolane, Formazione del Monte Argentario). Nel settore nord-orientale affiorano inoltre le Unità Liguri e Sub-liguri, separate dalle Unità Toscane da una faglia a basso angolo e costituite da torbiditi arenacee, argillose e calcaree.



**Fig. 4** - Schema geomorfologico dell'area. Sintema di Orbetello (Pleistocene superiore): (1) depositi alluvionali terrazzati; (2) sabbie eoliche; (3) conoidi alluvionali. Sintema del Fiume Albegna (Pleistocene superiore/Olocene): (4) sub-sintema di S. Donato Vecchio; (5) sub-sintema di Albiniadel Fiume Albegna; (6) depositi di spiaggia attuali e sub-attuali; (7) basamento pre-pliocenico; (8) area militare; (9) area urbanizzata; (10) paleoalveo; (11) cordone litorale; (12) scarpata di erosione fluviale ( $H > 10$  m); (13) scarpata di erosione fluviale ( $H < 10$  m); (14) traccia dei principali corsi d'acqua attuali; (15) scarpata di erosione marina ( $H > 10$  m); (16) scarpata di erosione marina ( $H < 10$  m); (17) falesia attiva; (18) falesia inattiva; (19) Dolina; (20) Aurelia attuale; (21) antica Aurelia; (22) ubicazione dei siti archeologici. Ag: Argentario; Al: Albinia; As: Ansedonia; Be: Podere Bellavista; BG: Barca del Grazi; CA: Canale di Ansedonia; CF: Canale di Fibia; CG: Casetta del Guinzone; CN: Canale di Nassa; Fe: Feniglia; FS: Forte delle Saline; Gi: Giannella; LL: Laguna di Levante; LP: Laguna di Ponente; Ob: Orbetello; Pa: Patanella; PB: Porto Bufaloro; PM: Podere Molino; PS: Podere Salciatella; Qu: Quagliodromo Re: Campo Regio; SD: San Donato; Ta: Tagliata; Ti: Tirreno; VR: Volta di Rote.

Lungo l'intero settore costiero sono stati segnalati terrazzi di abrasione marina quaternari posti fino a 300 m s.l.m. (Zanchi & Tozzi, 1987). Nell'entroterra dell'Albegna, i più antichi depositi pleistocenici sono i "calcarci bianchi lacustri" (Mancini, 1960), alterati al tetto da paleo-suoli attribuiti all'interglaciale Mindel-Riss. Questi depositi sono ricoperti da alluvioni antiche poste fino a 50 m sul fondovalle attuale. A quote meno elevate sono stati segnalati tre (Zanchi & Tozzi, 1987) o quattro (Bossio *et al.*, 2004) ordini di terrazzi fluviali. Mancini (1960), e successivamente Boschian *et al.* (2006), attribuiscono l'unità terrazzata più recente al Pleistocene superiore. Poco a nord dell'area, al Ponte sull'Osa, è stata descritta la serie-tipo di questa unità. I sedimenti marini attribuiti al Tirreniano sono ubicati fino a 10 m s.l.m., sebbene raggiungano uno spessore anomalo di 5,50 m. Essi sono sovrastati da sedimenti eolici (Unità delle Sabbie di Donoratico) contenenti un'industria musteriana ed attribuiti al Würm I (Mancini, 1960; Mazzanti, 1983). Mancini (1960) segnala depositi di "panchina" anche in prossimità di Orbetello. È necessario tuttavia porre attenzione nell'utilizzare questo termine, spesso adoperato in

modo improprio per identificare depositi cementati sia costieri che eolici (Mazzanti, 1983). Hearty e Dai Pra (1987) considerano i depositi eolici in stretta relazione con quelli costieri sottostanti, proponendo la loro attribuzione all'Ultimo Interglaciale. Secondo Mancini (1960), le sabbie sarebbero da ricollegarsi alla trasgressione tirreniana. Zanchi & Tozzi (1987) attribuiscono queste facies alla trasgressione più recente (Tirreniano II *Auct.*) per la presenza dei manufatti musteriani nelle sabbie regressive al di sopra delle sabbie marine, nelle quali non sono state rinvenute faune di clima temperato-caldo. Al tetto dei depositi eolici sono presenti sedimenti argilloso-limosi salmastri con abbondanti resti di *Cerastoderma edule*, che Mancini (1960) attribuisce a depositi interdunali o retrodunali delle fasi più umide dell'anaglaciale Wurm I o anche l'interstadiale WI-WII. Il quadro stratigrafico del Pleistocene dell'area è arricchito dai riempimenti delle grotte che si aprono nel promontorio di Ansedonia (Radmilli, 1955, 1956; Blanc, 1955). Nella Grotta Rose Mary, posta a circa 80 m s.l.m., sono presenti sabbie eoliche rimaneggiate di colore rosso che sovrastano depositi detritici, in parte intercalati a quelli eolici e contenenti faune würmiane (*Crocota crocota*, *Lepus europeus*, *Equus ferus* ed *E. hydruntinus*). Nel coevo riempimento della Grotta delle Sette Finestre, Blanc (1955) segnala la presenza di *Marmota marmota*, indicativa di un acme freddo würmiano. Altri dati cronologici provengono da Poggio del Leccio, dove Mancini (1960) descrive



**Fig. 5** - Depositi alluvionali del Sintema di Orbetello affioranti a nord-est di S. Donato Vecchio, nei pressi del Quagliodromo.



**Fig. 6** - Depositi eolici affioranti nei pressi del sottopasso ferroviario, ad est di Ansedonia.

brecce e detriti di versante misti a materiali di natura eolica contenenti una fauna riferibile al Pleistocene superiore (*Ursus spelaeus*, *Bos primigenius*, *Lepus europaeus*).

Dati paleogeografici, paleoecologici e cronologici sono infine riportati nello studio di Mazzini *et al.* (1999) relativo ad un sondaggio effettuato poco a nord di Albinia, del quale si tratterà più dettagliatamente nelle conclusioni.

## **I sintemi di Orbetello e del Fiume Albegna**

Il rilevamento geomorfologico, l'analisi stratigrafica e sedimentologica e la foto-interpretazione hanno permesso di scandire la successione di eventi che ha portato al modellamento del paesaggio attuale. I depositi quaternari sono stati suddivisi in due sintemi (Hedberg, 1976; APAT, 2003), ovvero unità delimitate alla base ed al tetto da superfici di discontinuità, quello di Orbe-

tello e quello del Fiume Albegna. Ambedue i sintemi sono stati ulteriormente suddivisi in associazioni di facies, le quali presentano determinate caratteristiche litologiche e morfologiche. Il secondo sintema è stato altresì suddiviso in due sub-sintemi per la presenza di un'evidente superficie di discordanza associata all'approfondimento vallivo.

Il Sintema di Orbetello, riferibile al Pleistocene superiore, è il più antico e comprende quattro associazioni di facies. L'antica pianura alluvionale dell'Albegna è caratterizzata in profondità da sedimenti sabbioso-ghiaiosi mentre alla sommità da sedimenti sabbioso-siltosi. Questi ultimi generano un esteso terrazzo alluvionale con una pendenza di 0,24%, la cui quota varia da circa 20 m s.l.m. nel settore più interno a circa 3,5 - 4 m s.l.m. in vicinanza della costa (Fig. 4).

Nei pressi del Quagliodromo, ad est di S. Donato Vecchio, la successione deposizionale è caratterizzata alla base da sabbie limose con stratificazione incrociata planare (Miall, 1996) e set a basso angolo (10-15°), rappresentanti barre sabbiose deposte da un

canale in progressiva migrazione laterale. Verso l'alto seguono sabbie grossolane e ghiaie fini con stratificazione incrociata a truogolo. Le ghiaie sono costituite da clasti da sub-angolosi a sub-arrotondati, del diametro medio di 0,5-1 cm e rappresentano i depositi di fondo di canali sinuosi (Miall, 1996). Limi argilloso-sabbiosi massivi costituiscono il successivo riempimento di canali abbandonati (Fig. 5). I depositi di quest'unità caratterizzano un classico tracciato a meandri dominato da sabbie e sedimenti misti, in cui sono comuni sequenze di canale abbandonato (Miall, 1985, 1996). La mancanza di variazioni topografiche di rilievo nella pianura indica che i sedimenti sono stati depositi in un generale contesto aggradazionale. Essi sono attribuiti al Pleistocene superiore sulla base delle loro caratteristiche morfo-pedostratigrafiche e rappresentano l'ultima estesa unità depostasi prima dell'incisione post-glaciale che ha portato alla conformazione attuale della valle. La sommità del terrazzo, inoltre, è alterata da suoli poco sviluppati e vi sono



**Fig. 7** - Depositi detritici affioranti nei pressi del Podere Salciatella, poco a nord di Ansedonia.

assenti i suoli rubefatti tipici dell'Ultimo Inter-glaciale (Coltorti & Pieruccini, 2006).

La seconda associazione di facies affiora ad Orbetello e poco a sud di Ansedonia, ed è costituita da calcareniti con stratificazione incrociata concava a basso e ad alto angolo, con set fino a 40° di inclinazione, contenenti rari frammenti di *Gastropodi* polmonati (Fig. 6). I sedimenti sono moderatamente cementati e concrezioni calcaree verticali o sub-verticali vi testimoniano antichi apparati radicali. Nel settore settentrionale dell'area e a sud di Ansedonia, depositi di origine eolica sono presenti per vari chilometri nell'entroterra, dove generavano dei campi di dune. In prossimità della costa essi sono tagliati da una scarpata di erosione marina che marca il margine interno dell'antica linea di riva relativa alla massima trasgressione olocenica. Questi depositi sono analoghi a quelli segnalati poco più a nord e, informalmente denominati "sabbie di Donoratico" (Mazzanti, 1983).

La terza associazione di facies è stata rinvenuta nei pressi di Podere Salciatella dove affiorano brecce eterometriche talora immerse in matrice sabbioso-siltosa di colore bruno e bruno scuro. Sono presenti grossi blocchi, del diametro massimo di 80 cm, livelli sabbioso-siltosi e sabbie ben classate massive, contenenti grandi noduli e concrezioni calcaree verticali (Fig. 7). Si tratta dei resti di antichi coni e falde detritiche depositi ai piedi dei versanti calcarei e all'interno di doline. I sedimenti più fini sono colluvi originatisi per dilavamento di sedimenti eolici.

La quarta associazione di facies affiora al Podere Bellavista ed è costituita da conglomerati con clasti eterometrici da angolosi a sub-angolosi e raramente arrotondati, con stratificazione incro-



**Fig. 8** - Depositi di conoide alluvionale affioranti nei pressi del Podere Bellavista, affioranti sullo svincolo dell'Aurelia per Orbetello.

ciata concava discretamente appiattita (Miall, 1996). Essi sono stati depositi dai corsi d'acqua locali allo sbocco con la pianura alluvionale, dove generavano piccole conoidi alluvionali la cui sommità è generalmente ben conservata (Fig. 8). Ad ovest della laguna i depositi sono dissecati da una scarpata di erosione costiera anch'essa associata al margine interno della massima trasgressione olocenica (Fig. 4).

Il Sintema del Fiume Albegna, riferibile al Pleistocene superiore/Olocene, è stato suddiviso in due sub-sintemi, di San Donato Vecchio e di Albinia.

Nel settore settentrionale dell'area, il sub-sintema di S. Donato Vecchio è caratterizzato da alcuni terrazzi di modesta estensione laterale posti a quote inferiori rispetto al terrazzo alluvionale del Sintema di Orbetello. Alla loro sommità si osservano paleomeandri con raggio di curvatura inferiore a 100 m al cui interno sono preservati piccoli rialzi topografici. I meandri sono riconducibili all'Albegna ed ai suoi affluenti, in particolare dell'Albegnaccia. Questi terrazzi minori si sono modellati durante l'approfondimento del tracciato fluviale. Purtroppo nessuna sezione stratigrafica ha permesso di dettagliarne le caratteristiche sedimentarie. Sebbene ogni scarpata che li delimita verso valle corrisponda ad una superficie di discordanza di ordine minore, questi terrazzi sono stati raggruppati in un unico sub-sintema in considerazione del fatto che la discordanza più significativa rimane quella che li separa dalla pianura alluvionale attuale.

Il più recente sub-sintema di Albinia è stato suddiviso secondo criteri morfo-stratigrafici in quattro associazioni di facies: (1) le alluvioni attuali, inclusi i sedimenti confinati all'interno degli argini, (2) i depositi deltizi e costieri, (3) i

depositi di spiaggia attuali e (4) i sedimenti siltosi ed argillosi lagunari.

Le alluvioni attuali sono caratterizzate principalmente da sabbie e limi. Prima della costruzione degli argini la pianura alluvionale era interessata da esondazioni dell'Albegna e dei suoi affluenti: esondazioni che oggi si verificano solo durante gli eventi di piena eccezionale. L'andamento dell'alveo è irregolare: i tratti rettilinei derivano verosimilmente dalla rettificazione del tracciato mentre le anse ricalcano il percorso originario. La maggior parte dei fabbricati è stata edificata dopo la costruzione degli argini. Gli edifici più antichi sono alcuni mulini (ad esempio, il Volta di Rote e il Podere Molino). Altre informazioni sull'assetto della pianura si possono dedurre osservando la rete stradale. A nord della foce, l'Aurelia corre attualmente lungo i cordoni litorali precedenti il X sec. a.C., età delle più antiche frequentazioni antropiche della Giannella. Quando venne costruita l'Aurelia antica questi cordoni esistevano già ma il settore era geomorfologicamente instabile a causa delle dinamiche costiere. È verosimile che l'antico asse viario coincidesse con la strada che corre attualmente sui terrazzi alluvionali a nord di S. Donato Vecchio o, in alternativa, sui cordoni litorali ai piedi della scarpata di erosione costiera più interna; con ogni probabilità, esso è ricalcato dall'Aurelia attuale a sud dell'Albegna (Fig. 4).

La foto-interpretazione ha permesso di individuare numerosi paleo-alvei che solcavano la pianura alluvionale e di definire lo stile deposizionale fluviale precedente la costruzione degli argini. L'analisi dei paleo-meandri, la comparazione con mappe storiche e la presenza di numerose testimonianze archeologiche nella pianura (Negroni Catacchio et al., in stampa) hanno permesso di stabilire alcune variazioni del tracciato fluviale durante l'Olocene. Poco a nord della foce attuale si individua una depressione topografica che marca la posizione dell'Albegna e della foce antica in epoca storica. Ancora più a nord è stato identificato un ulteriore tracciato fluviale che si segue da "La Barca del Grazi" fino all'altezza del "Campeggio Village Oasi", dove sono stati identificati antichi cordoni litorali che disegnano una cuspidi, verosimilmente rappresentante l'antica foce precedente la crescita dei cordoni più esterni. Essi, infatti, marciano la prima importante progradazione verso ovest a partire dalla scarpata di erosione costiera creata durante la massima trasgressione olocenica. Secondo la classificazione di Bellotti

(2000), il valore angolare dell'intersezione dei cordoni litorali con l'asse del paleo-canale distributore permette di attribuire questo apparato deltizio alla classe C ( $\alpha < 140^\circ$ ). Anche a sud dell'Albegna sono stati riconosciuti numerosi paleomeandri, dei quali due dei più importanti in prossimità della casetta del Guinzone. Manufatti in selce rinvenuti in questo settore suggeriscono che questi tracciati incidano sedimenti più antichi di 3.000 anni a.C. Questi paleo-alvei alimentavano due apparati deltizi, di Porto Bufaloro a nord e di Patanella a sud. In particolare, nell'apparato settentrionale i cordoni litorali hanno permesso di identificare la progressiva transizione da un delta arcuato ad uno cuspidato che indica un chiaro aumento del carico solido. Il valore angolare dell'intersezione dei cordoni litorali nei pressi della foce permette di individuare la transizione da un delta più interno di classe A ( $\alpha > 180^\circ$ ) ad uno più esterno di classe C ( $\alpha < 140^\circ$ ). L'antica foce era ubicata nei pressi di Porto Bufaloro (Fig. 4). La parte terminale della cuspidi è troncata da processi erosivi instauratisi dopo la rapida crescita del delta. L'apparato deltizio di Patanella è caratterizzato da paleo-alvei con tracciato irregolare che tagliavano in parte i cordoni litorali meridionali della cuspidi di Porto Bufaloro. La cuspidi deltizia, fortemente erosa, presenta valori angolari tipici di un delta di tipo C. I processi erosivi instauratisi dopo la crescita del delta hanno generato le due estese depressioni de Lo Stagnone e de Lo Stagnino (Fig. 9).

Alla sommità dei depositi deltizi di Patanella sono presenti solo resti frequentativi etrusco-ellenistici che suggeriscono un'età di poco precedente alla sua formazione. A questa associazione di facies appartengono anche i cordoni litorali affioranti in località Campo Regio, alimentati dal paleo-tracciato a meandri individuato ad est del Campeggio Village Oasi (Fig. 4).

I depositi di spiaggia attuali e quelli retrostanti, di natura prevalentemente sabbiosa, costituiscono i tomboli della Giannella e della Feniglia e delimitano verso l'interno la laguna. Sui tomboli si sviluppano limitate dune eoliche. La fascia costiera è oggi attiva ed è caratterizzata generalmente da moderata energia del moto ondoso. La linea di costa è attualmente in arretramento (Bartolini et al., 1979; D'Alessandro et al., 1980) e localmente è possibile osservare una modesta scarpata d'erosione alle spalle dei depositi di spiaggia attuale. I manufatti più antichi si trovano nella parte interna del tombolo della Feniglia e risalgono alla prima età del Ferro

(IX-VIII sec. a.C.). Essi sono stati associati all'attività di estrazione del sale. Nel settore più occidentale del tombolo è inoltre presente un'ampia villa, sorta su strutture lievemente più antiche e con adiacenti strutture portuali e peschiere, la quale sopravvivrà fino al V sec. d.C. Ritrovamenti romani provengono dal sito di Poggio Pertuso, nel lato più occidentale della Feniglia e dalla Torre delle Saline, nel margine interno della Giannella presso la foce dell'Albegna, a circa 700 m dalla linea di costa attuale. L'abitato contiene strutture portuali e si colloca tra la fine del II secolo a.C. alla fine del I secolo d.C. (Ciampoltrini 1994). Il sito ebbe un ruolo importante sia per la navigazione tirrenica che per le attività artigianali connesse, legate principalmente alla produzione di anfore vinarie.

Nelle vicinanze, a nord della foce, è anche presente il Forte delle Saline, costruito nella seconda metà del XV secolo dai senesi ed ampliato nel 1630 per ordine di Re Filippo IV di Spagna. Il forte a quel tempo dominava la costa e solo successivamente, con la progradazione della linea di costa, esso perse la sua funzione. Questi due siti testimoniano che dal periodo romano fino al XVII secolo la linea di costa rimase nella stessa posizione e che il cordone della Giannella era relativamente più stretto.

Sedimenti siltosi ed argillosi più o meno ricchi di materia organica caratterizzano l'ultima associazione di facies e costituiscono i depositi della laguna di Orbetello, gli stagni di Tagliata a sud di Ansedonia e i resti di antiche lagune costiere poste a nord dell'Albegna. Sul bordo di quest'ultimo settore, varie carte storiche del XVI secolo riportano la presenza di saline.

## Interpretazione e conclusioni

Il Sintema di Orbetello, riferibile al Pleistocene superiore, si è depositato quando il livello del mare era molto più basso dell'attuale e, analogamente ad altri settori costieri italiani (Asioli *et al.*, 1996; Bellotti, 2000; Pranzini, 2004), l'area era rappresentata da un'ampia pianura dominata dall'estesa conoide alluvionale del Fiume Albegna con pendenza prossima a 0,24%. Le fasi finali della sedi-



**Fig. 9**-Panoramica degli apparati deltizi di Porto Bufalaro e Patanella e delle depressioni dello Stagnone e dello Stagnino poste all'interno della cuspidè di Patanella. In passato numerosi canali artificiali sono stati scavati in questi settori. Sullo sfondo sono visibili Orbetello ed il Tombolo della Feniglia (foto Marco Solari).

mentazione della pianura erano governate da canali sinuosi multipli in progressiva aggradazione, mentre i torrenti che incidevano i versanti locali generavano piccole conoidi alluvionali. La riellaborazione eolica dei sedimenti fluviali, in larga parte esposti nella pianura costiera, era certamente agevolata dalle basse temperature a cui si associavano condizioni di generale aridità ("sabbie di Donoratico"). Le frequenti alternanze di gelo-disgelo e l'aridità del clima sono anche confermati dalla deposizione di falde e cono di detrito ai piedi dei versanti, attualmente generati solo nelle parti più elevate delle aree appenniniche ed alpine.

In passato, il terrazzo formato dall'incisione post-glaciale dell'antica pianura era considerato di origine eustatica ed attribuito all'Ultimo Interglaciale (Hearty & Dai Pra, 1987; Mazzini *et al.*, 1999; Bossio *et al.*, 2004). Hearty & Dai Pra (1987) interpretavano i sedimenti eolici come depositi di retro-spiaggia ed utilizzavano la loro quota massima di affioramento (+7m s.l.m) come rappresentativa del livello massimo raggiunto dal mare nel Tirreniano. Basandosi su queste quote, comparabili con quella di un solco di battente appartenente all'Ultimo Interglaciale nei pressi di Talamone (poco a nord dell'area investigata), è stato ipotizzato che questo settore sia "tettonicamente stabile" a partire dal Tirreniano (Antonoli & Ferranti, 1996; Lambeck *et al.*, 2004; Ferranti *et al.*, 2006). In tale settore, invece, non sono stati ritrovati sedimenti Tirreniani, che peraltro dovrebbero trovarsi al di sotto dei depositi alluvionali ed eolici che sigillano la scarpata di erosione costiera

Tirreniana. I terrazzi fluviali sono di origine climatica come anche evidenziato in numerosi settori costieri italiani (Gori 1988; Coltorti 1997; Amorosi et alii 1999). Le intercalazioni di detriti e sedimenti eolici osservate in depositi di verante (Mancini 1960) ed all'interno delle grotte Rose Mary e delle Sette Finestre, nel promontorio di Ansedonia (Radmilli et alii 1955; Blanc 1955) indicano come anche i sedimenti eolici siano stati depositi durante l'Ultima Glaciazione. Le eolianiti dell'Isola d'Elba ed in Sardegna sono infatti state datate a questo intervallo cronologico (Cremaschi & Trombino 1998; Melis et alii 2002; D'Orefice et alii 2007).

L'evoluzione tardi-glaciale e post-glaciale dell'area è molto più articolata e presenta alcuni aspetti ancora irrisolti. I sedimenti relativi sono stati raggruppati nel Sintema del Fiume Albegna, riferibile alla fine del Pleistocene superiore-Olocene. Paleoalvei dell'Albegna e dei suoi affluenti generavano terrazzi fluviali di limitata estensione (sub-sintema di S. Donato Vecchio) modellati da tracciati a meandro in progressiva incisione. Lo stile deposizionale era riconducibile al classico tracciato a meandri dominato da sabbie e sedimenti misti (Miall, 1996). Il sub-sintema di Albinia è invece costituito dai sedimenti della pianura alluvionale attuale e sub-attuale. Di particolare importanza è stato il rinvenimento, sui bordi interni della pianura, di una scarpata di erosione costiera la quale marca il margine interno raggiunto dalla massima trasgressione post-glaciale, quando l'Argentario costituiva un'isola adiacente alla terraferma. A nord della foce attuale, la scarpata taglia i depositi eolici affioranti in località Campo Regio. In corrispondenza della pianura essa è sepolta dai depositi alluvionali e ricompare solo in prossimità di Orbetello. A sud si rinviene sul bordo interno della laguna fino al P. Salciatella, dove taglia i depositi di conoidi alluvionale pleistocenici. Ancora più a sud la scarpata si raccorda alla falesia inattiva a ridosso dei versanti calcarei fino al promontorio di Ansedonia, dove la falesia è ancora oggi attiva (Fig. 4). A sud est del promontorio la scarpata si rinviene nuovamente sul bordo interno delle locali lagune e taglia i depositi eolici del Sintema di Orbetello. È verosimile che questa importante evidenza geomorfologica si sia sviluppata circa 6.000 B.P. quando il mare aveva raggiunto una quota prossima a quella attuale.

I più antichi cordoni litorali addossati a questa scarpata testimoniano la rapida crescita di un apparato deltizio che da arcuato diviene progressivamen-

te cuspidato in un periodo precedente il 5.000 B.P. (delta di Porto Bufaloro). I depositi di spiaggia attuali e quelli retrostanti caratterizzano infine i tomboli della Giannella e della Feniglia e delimitano verso l'interno la laguna. Questi cordoni si sviluppano prima del IX-VIII sec. a.C., età dei più antichi manufatti rinvenuti alla loro sommità. Le evidenze cronologiche, quindi, permettono di ipotizzare che la crescita del delta di Porto Bufaloro sia avvenuta prima della loro costruzione e verso il mare aperto. L'apparato deltizio di Patanella presenta invece alla sua sommità solo resti insediativi di età etrusco-ellenistica ed è dunque probabile che la sua formazione, come suggerito anche da Mazzanti (1963), sia avvenuta in epoca storica quando i tomboli si erano già formati. La sua crescita tendeva certamente a colmare la laguna e non è quindi escluso che la deviazione dell'Albegna verso nord sia artificiale.

In genere la formazione dei tomboli è legata ad una rapida sedimentazione costiera e dunque alla rielaborazione e ridistribuzione lungo la costa dei sedimenti fluviali da parte delle correnti litoranee. Il tombolo della Giannella è stato certamente alimentato dall'Albegna nel momento in cui la foce si trovava a nord di quella attuale. Gli studi sulle dinamiche attuali della costa sembrano dimostrare che le torbide dell'Albegna, e in parte anche quelle dell'Osa, tenderebbero a dare stabilità a questo cordone litoraneo (D'Alessandro *et al.*, 1980). La linea di riva è però oggi in arretramento, soprattutto in corrispondenza della foce, per la diminuzione dell'apporto sedimentario verificatasi negli ultimi decenni (D'Alessandro *et al.*, 1980). Il tombolo di Feniglia, invece, in posizione riparata dalle correnti litoranee dirette verso sud per la presenza dell'Argentario, è stato probabilmente alimentato dal fiume Fiora che sfocia poco a sud dell'area. La deriva litoranea verso nord sembra essere confermata da studi sui parametri geometrici del moto ondoso (Evangelista *et al.*, 1996). Anche le spiagge della Feniglia hanno subito una forte erosione, probabilmente legata alla riduzione dell'apporto solido dei fiumi (Bartolini *et al.*, 1979).

Il rapido avanzamento della linea di costa dopo il Neolitico e la crescita di tomboli durante l'Età del Bronzo e del Ferro è un fenomeno noto in tutto il Mediterraneo ed associabile alla progressiva ed intensa deforestazione dei versanti a scopi agricolo-pastorali (Vita-Finzi 1969; Coltorti 1997). Tra il IV-III secolo a.C. e il XV secolo d.C. sembra verificarsi una generale stabilità data la vicinanza tra il porto romano e la torre di guardia medioevale

del Forte delle Saline. Una cronologia degli eventi comparabile è riconoscibile nel delta dell'Ombro-  
ne, dell'Arno, del Tevere e in larga parte del litorale adriatico dove è stata associata alla oculata pianificazione delle opere di regimazione fluviale durante la fine dell'Età del Ferro e l'epoca romana (Coltorti 1997). Dopo l'XI secolo si hanno indizi di una nuova fase di avanzamento che subisce un'accelerazione dopo il XV-XVI con un massimo tra il XVII e il XIX secolo. In questo periodo infatti molte lagune vengono colmate e estese cuspidi deltizie avanzano in mare aperto (Bravetti & Pranzini 1987; Coltorti 1997; Bellotti 2000; Bellotti et alii 2004; Pranzini 2001; 2004).

Alcuni autori associano l'avanzata della costa dopo il Medioevo a motivi climatici ed in particolare alla oscillazione climatica freddo-umida della Piccola Età Glaciale (Bellotti et alii 2004). È però verosimile che l'eliminazione della copertura forestale, responsabile del progressivo aumento del carico solido, possa attribuirsi a disboscamenti antropici (Gentili & Pambianchi 1987; Coltorti 1997; Correggiari et alii 2006).

Un contributo allo studio di questo settore giunge da un sondaggio effettuato poco a nord della foce dell'Albegna che raggiunge -51 m (Mazzini *et al.*, 1999). Le ghiaie grossolane basali, di età incerta, sono sovrastate da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, attribuiti al Tardiglaciale (Fig. 10). A -27 m sono presenti depositi sabbioso-siltosi e livelli torbosi datati a  $9.010 \pm 130$  anni B.P.; un successivo livello siltoso con resti di piante, rinvenuto alla profondità di -21 m, ha restituito un'età di  $8.740 \pm 130$  anni B.P. Il tasso di sedimentazione era di circa 15,3 mm/a. Verso l'alto, fino a -10 m, la deposizione di sabbie e silt contenenti molluschi salmastri indicherebbe la successiva trasgressione olocenica. Con i tassi sedimentari precedenti l'evento risulterebbe essersi verificato circa 8.000 anni B.P. La quota del livello del mare in questo intervallo di tempo è però incerta. Mazzini *et al.* (1999) ipotizzano la genesi di cordoni litorali anche durante le più antiche fasi deposizionali, suggerendo che il massimo della trasgressione marina registrata nel sondaggio si collochi all'incirca a 8.000 anni B.P. I dati geomorfologica raccolti hanno permesso di avanzare un'interpretazione diversa. In particolare, la scarpata di erosione costiera che taglia i depositi di versante e quelli eolici suggerisce che la trasgressione marina abbia raggiunto il litorale e che solo in seguito alla rapida progradazione deltizia si

siano originati i cordoni litorali e quindi la laguna. L'unità sabbiosa compresa tra -30 e -27,5 m potrebbe costituire la superficie di discordanza della trasgressione versiliana, preceduta (da circa -32 m) dall'instaurarsi di un ambiente salmastro. I sedimenti sabbiosi rinvenuti tra -41,6 e -38,6, potrebbero rappresentare la discordanza associata alla trasgressione dell'Interstadiale di Bølling-Allerød e la successiva regressione del Dryas superiore riconosciuta anche in nord Adriatico (Trincardi *et al.*, 1996). I sedimenti presenti tra -27,5 e -10 m non si sarebbero dunque deposte in un ambiente lagunare, bensì in un ambiente neritico di baia protetta, come anche suggerito dalle associazioni tipiche della biocenosi a *Posidonia*. La concomitanza di associazioni di molluschi ed ostracodi di ambiente salmastro ed associazioni più dulcicole potrebbero rappresentare locali variazioni delle foci deltizie. Le ghiaie e le sabbie tra -10 m e -8 m rappresenterebbero sedimenti di spiaggia fortemente alimentata in seguito ai primi apporti sedimentari dell'Albegna come risultato dell'aumento del carico solido associabile alle intense fasi di disboscamento neolitiche.

Rimangono tuttavia ancora problematiche le modalità e la cronologia della trasgressione olocenica o versiliana. Fino a qualche decennio fa, la maggior parte degli autori riteneva che il livello del mare avesse smesso di innalzarsi all'incirca 6.000 anni B.P., nel momento in cui terminava lo scioglimento della calotta glaciale che ricopriva l'emisfero settentrionale (Alessio *et al.*, 1997). Alcuni recenti lavori, invece, ipotizzano che lo scioglimento della calotta antartica, di minore entità, sarebbe continuato anche dopo i 6.000 anni B.P. producendo un innalzamento addizionale di circa +3 m del livello globale del mare tra i 6.000 e i 3.000 anni B.P. (Lambeck, 2002). Le recenti indagini sulla calotta groenlandese hanno però evidenziato come localmente ad un ritiro anche di 60 km dai fronti attuali sia succeduta una fase di rapida avanzata (Tarasov & Peltier 2002; Khan *et al.*, 2007). Dati analoghi stanno emergendo dall'area alpina, dove in seguito alla generale fusione dei ghiacciai stanno venendo alla luce resti lignei associabili alle antiche foreste dell'Optimum climatico (Porter & Orombelli, 1985; Joerin *et al.*, 2006). Dato che la quota del livello del mare è connessa con la quantità d'acqua immagazzinata sotto forma di ghiaccio sui continenti, è verosimile che se nell'Olocene antico i ghiacciai erano più arretrati di oggi, il livello del mare fosse superiore

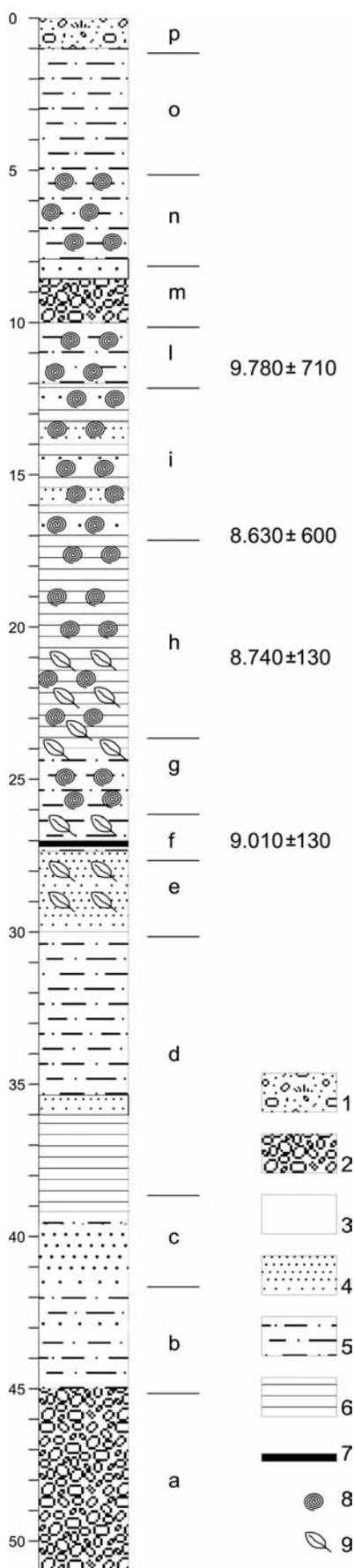


Fig. 10 - Sondaggio a nord della foce attuale (da Mazzini et alii 1999 modificato): 1, suolo; 2, ghiaie; 3, sabbie siltose; 4, silt sabbiosi; 5, silt argillosi; 6, argille siltose; 7, torba; 8, frammenti di molluschi; 9, resti di foglie.

a quello attuale. La tesi che il massimo livello marino sia stato raggiunto durante l'Optimum climatico, tra gli 8.000 ed i 6000 anni B.P., sembra confermata anche da studi recenti effettuati su depositi costieri della Sardegna e della Tunisia (Pirazzoli, 2005; Morhange & Pirazzoli, 2005).

### Testi citati

Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Ferranti L., Improta S., Manfra L. & Preite Martinez M. (1997) – *La curva di risalita del Mare Tirreno negli ultimi 43 Ky ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia 52: 235-256.

Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G. & Preti D. (1999) – *Sedimentary response to Late Quaternary Sea-level changes in the Romagna coastal plain (Northern Italy)*. Sedimentology, 46: 99-121.

Antonioli F. & Ferranti L. (1996) – *La risalita del mare Tirreno nel corso dell'Olocene. Cinquanta anni di ricerche*. Memorie della Società Geologica Italiana, 51: 93-99.

APAT. (2003) – *Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica*. Quaderni, Serie III, 9.

Asioli A., Trincardi F., Correggiari A., Langone L., Vigliotti S., Van der Kaars S. & Lowe, J.J. (1996) - *The Late Quaternary deglaciation in the Central Adriatic basin*. Il Quaternario, 9: 763-770.

Bartolini C., Corda L., D'Alessandro L., La Monica G.B. & Regini E. (1979) – *Studi di Geomorfologia costiera: III – Il tombolo di Feniglia*. Boll. Soc. Geol. It., 96:117-157.

Bellotti P. (2000) – *Il modello morfo-sedimentario dei maggiori delta tirrenici italiani*. Boll. Soc. Geol. It., 119: 777-792.

Boschian A., Bossio A., Dall'Antonia B. & Mazzanti R. (2006) – *Il Quaternario della Toscana*, in: Studi Costieri. Dinamica e difesa dei litorali – Gestione integrata della fascia costiera, 12, 207 pp.

Ciampoltrini G. (1994) – *Albinia, fluvius habet positionem. Scavi 1983-1988 nell'approdo alla foce dell'Albegna (Orbetello, GR)*. RassAPIomb 14: 149-180.

Coltorti M. (1997) - *Human impact in the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche Region, Central Italy*. Catena, 30: 311-335.

- Crevaschi M. & Trombino L. (1998) – *Eolianites, Sea Level Changes and Paleowinds in the Elba Island (Central Italy) during Late Pleistocene*. In: *Dust Aerosols, Loess Soils and Global Change* (Busacca A.J. ed), Washington State University College of Agriculture and Home Economics, Pullman, WA, 131-134.
- D'Alessandro L., Evangelista S., La Monica G. B., Landini B. & De Marco R. (1980) – *Dinamica del litorale della Toscana meridionale fra Talamone e Monte Argentario*. Boll. Soc. Geol. It., 98: 259-292.
- Delano-Smith C. (1979) – *Western Mediterranean Europe: a historical geography of Italy, Spain, and southern France since the Neolithic*. Academic Press, London/New York.
- D'Orefice M., Graciotti R. & Capitanio F. (2007) – *Le eolianiti dell'Isola d'Elba: i depositi del promontorio di M. Calamita e del Golfo di Viticcio*. Il Quaternario, 20 (1): 21-44.
- Fabbri P. (1985) – *Coastline variations in the Po delta since 2500 B.P.* Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl. Bd., 57:155-167.
- Ferranti L., Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Pra G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orrù P., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Sansò P. & Verrubbi V. (2006) – *Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications*. Quaternary International, 145–146: 30–54.
- Gori U. (1988) – *Contributo alla conoscenza della sedimentazione delle alluvioni quaternarie del Fiume Foglia (Marche)*. Geogr. Fis. Din. Quat., 11 (2): 121-122.
- Hearty P.J. & Dai Pra G. (1987) – *Ricostruzione paleogeografica degli ambienti litoranei della Toscana e del Lazio settentrionale con l'impiego dell'aminostratigrafia*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, 196: 189-224.
- Hedberg H.D. (1976) – *International Stratigraphic Guide: a Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure*. John Wiley & Sons, New York.
- Joerin U.E., Stocker T.F., Schlüchter C. (2006) – *Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene*. The Holocene, 16 (5): 697-704.
- Khan S.A., Wahr J., Dam T.V., Larson K.M., Francis O., Leuliette E.W., Hamilton G.S. & Stearns, L.A. (2007) – *Elastic and viscoelastic crustal deformations in Greenland due to ice mass changes*. Eos Trans. AGU, 88 (52), Fall Meet. Suppl., Abstract.
- Lambeck K. (2002) – *Sea level change from mid Holocene to Recent time: an Australian example with global implications*. In: *Ice Sheets, Sea Level and the Dynamic Earth*, Geodynamic Series 29, American Geophysical Union, Washington, DC, 33-50.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A. & Silenzi S. (2004) – *Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr*. Quaternary Science Reviews, 23: 1567–1598.
- Mancini F. (1960) - *Sulla geologia della piana dell'Albegna (Grosseto)*, Boll. Soc. Geol. It., 79 (2): 1-90.
- Mazzini I., Anadon P., Barbieri M., Castorina F., Ferrelli L., Gliozzi E., Mola M. & Vittori E. (1999) – *Late Quaternary sea-level changes along the Tyrrhenian coast near Orbetello (Tuscany, central Italy): palaeoenvironmental reconstruction using ostracods*. Marine Micropaleontology, 37: 289-311.
- Melis R.T., Palombo M.R. & Mussi M. (2002) – *The stratigraphic sequence of Gonnese (SW Sardinia): Palaeoenvironmental, palaeontological and archaeological evidence*. In: *World Islands in Prehistory* (Waldren W.H. & Ensenyat J.A. eds.), International Insular Investigations, BAR Int. Ser. 1095: 445-453.
- Negrone C., Cardosa M. & Dolfini A. (eds) – *Paesaggi D'Acque, La Laguna di Orbetello tra Preistoria ed Età Romana*, (in stampa).
- Porter S.C. & Orombelli G. (1985) – *Glacier contraction during the middle Holocene in the western Italian Alps: evidence and implications*. Geology 13: 296-298.
- Pranzini E. (2004) - *La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*. Zanichelli ed. S.P.A.
- Tarasov L. & Peltier W.R. (2002) – *Greenland glacial history and local geodynamic consequences*. Geophy. J. Int., 150: 198-229.
- Trincardi F., Asioli A., Cattaneo A., Correggiari A., Vigliotti S. & Accorsi, C.A. (1996) – *Transgressive offshore deposits on the Central Adriatic shelf: architecture complexity and the record of the Younger Dryas short term event*. Il Quaternario, 9 (2): 753-762.
- Vita-Finzi C. (1969) - *The Mediterranean Valleys*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zanchi A. & Tozzi M. (1987) - *Evoluzione paleogeografica e strutturale recente del bacino del fiume Albegna (Toscana Meridionale)*. Geologica Romana, 26: 305-325.

# Stato di salute e fauna ittica di due praterie di *Posidonia oceanica* a differente livello di protezione ambientale

Francesca Borghini, Andrea Colacevich, Tancredi Caruso, Daniele Grech, Sara Zucchi, Guido Perra, Silvano Focardi

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali “G. Sarfatti”, Via Mattioli 4 – 53100 Siena  
borghini@unisi.it, tancredicaruso@unisi.it, focardi@unisi.it

*La Posidonia oceanica è una fanerogama marina endemica del Mar Mediterraneo, la cui importanza negli ambienti costieri è ormai universalmente riconosciuta: le sue praterie, infatti, oltre a formare una specifica biocenosi includente alcune centinaia di specie, rappresentano per molti taxa animali, anche di grande importanza commerciale, un comodo rifugio ed un luogo adatto all'alimentazione ed alla riproduzione. L'articolo presenta i risultati di uno studio condotto nell'estate del 2008 sullo “stato di salute” di due praterie a differente livello di protezione ambientale e della fauna ittica ad esse associata. Una è localizzata nelle acque antistanti Cala Cacciarella del Monte Argentario, in una zona relativamente vicina al centro abitato di Porto S. Stefano; l'altra è ubicata all'interno del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, nell'area marina compresa tra Punta del Pulpito e Punta Libeccio dell'Isola di Pianosa. Si è ricorso a metodi di campionamento non distruttivi: per le praterie, descrittori strutturali quali la densità e la copertura; per le ittiofaune, il metodo del Visual Census (VC) condotto secondo le modalità del “punto fisso” e del “belt transect”. Se ne è concluso che entrambe le praterie, di densità normale o sub-normale, godono di buona salute; per quanto riguarda le rispettive faune ittiche, comunque, malgrado risultino simili per densità, ricchezza specifica ed abbondanza relativa, esse presentano strutture comunitarie differenti. Con ogni probabilità, la causa di questa differenza va indicata sia nell'effetto riserva che nelle specifiche caratteristiche ambientali.*

## Introduzione

La *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 (Monocotiledoni, ordine Elobie, famiglia Posidoniacee) è una specie endemica del Mar Mediterraneo. Essa costituisce la fanerogama marina più importante di questo mare, sia per la complessità e

la persistenza dell'omonimo sistema ecologico (biocenosi) di cui è caratterizzante, sia per la continuità dell'estensione delle sue praterie nelle acque costiere (Fig. 1). La *Posidonia* vive normalmente tra 1 e 30 m di profondità, spingendosi anche fino a -40 m laddove la limpidezza delle acque consente il compimento dei processi di fotosintesi clorofilliana. Può vivere entro un discreto campo di temperature – da 10 a 28 °C circa – ma è poco tollerante nei confronti delle variazioni di salinità, per cui non è presente in corrispondenza delle foci dei fiumi e nelle lagune costiere salmastre. Predilige essenzialmente i fondali sabbiosi, sebbene possa radicarsi anche in detriti grossolani e in substrati duri, modificandoli.

A parte le foglie – nastriformi, lunghe fino a un metro e mezzo e raccolte in fasci anche di 6-7 elementi – una delle maggiori caratteristiche di questa pianta è il suo fusto a crescita sotterranea o rizoma (dal greco “radice ingros-



Fig. 1 - Prateria a Posidonia.



Fig. 2 - Nudibranco *Janolus cristatus* Delle Chiaje, 1841.

sata”), avente principalmente funzione di riserva e crescente in senso orizzontale (plagiotropo) o verticale (ortotropo) nei confronti del substrato. I rizomi plagiotropi, che hanno la funzione di ancorare la pianta al substrato sviluppando radici sul loro lato inferiore, sono i primi a formarsi e vengono perciò considerati come pionieri in quanto sono alla base dell’espansione della prateria; quelli ortotopi, invece, crescono in altezza per impedire alla pianta di rimanere insabbiata in ambienti soggetti a sedimentazione. L’intreccio di più livelli di rizomi e di radici con il sedimento che vi rimane intrappolato dà origine alla *matte* (plurale: *mattes*), ovvero una formazione a terrazzo con foglie vive soltanto alla sua sommità, la quale può innalzare il fondo marino anche di 6 m, sebbene sia molto raro trovarne di così alte a causa della loro lenta velocità di accrescimento (un metro circa ogni 100 anni). Essa è maggiormente sviluppata nelle zone meno esposte al moto ondoso, mentre nelle zone a forte idrodinamismo viene erosa e dà luogo alla formazione di tipici canali chiamati *intermattes*. Il substrato a *mattes* rappresenta quindi l’elemento più caratteristico ed importante della biocenosi a Posidonia, in quanto oltre a concorrere alla salvaguardia delle coste dall’erosione, si presta alla formazione di



Fig. 4 - Il crinoide pelagico *Antedon mediterranea* Lamarck, 1816.



Fig. 3 - Uova di mollusco su foglia di Posidonia.

tane stabili da parte di numerose specie di pesci e di altri animali. Esso, inoltre, assicura la stabilità e favorisce riproduzione della stessa fanerogama (che è al medesimo tempo sessuata ed asessuata) dando così luogo a vere e proprie praterie sottomarine. Queste possono estendersi anche fino a 35-40 m di profondità, presentandosi come continue ed uniformi o discontinue ed “a macchie” a seconda della densità dei fasci foliari, ed ospitano circa il 20-25 % delle specie animali mediterranee (Moliner & Picard, 1952) (Figg. 2-5).

Negli ultimi decenni si è registrata in quasi tutto il Mediterraneo una notevole regressione della superficie delle praterie di Posidonia, talvolta con effetti così disastrosi per gli *habitat* infralitorali e per la fascia costiera, da farne considerare il controllo una delle emergenze prioritarie per la gestione ambientale. Si ritiene che la rarefazione e la scomparsa delle praterie siano dovute a molteplici fattori, tra cui l’erosione meccanica prodotta dagli attrezzi da pesca a strascico e dalle ancore delle imbarcazioni da diporto, la costruzione di opere costiere e l’inquinamento (Guidetti & Fabiano, 2000; Borg *et al.*, 2006; Ceccherelli *et al.*, 2007; Montefalcone *et al.*, 2007).

Comunque sia, rimangono ancora oggi tutt’altro



Fig. 5 - *Serranus scriba* Linnaeus, 1758.

che numerosi gli studi sulla biocenosi a Posidonia delle coste italiane. Tra questi vanno ricordati, per la Toscana, quello di Papi *et al.* (1992) relativo alla distribuzione del fitobenthos nell'Arcipelago e quelli di Lenzi (1987) e Lenzi *et al.* (1989, 1993) per le coste grossetane. Particolare attenzione meritano anche le ricerche sulla distribuzione delle praterie di *P. oceanica* effettuate da Piazzini *et al.* (2000a) lungo le coste toscane (investigate tra il 1990 e il 1995 tramite metodi sia diretti che indiretti), da Acunto *et al.* (2000), Bedini *et al.* (2000) e Piazzini *et al.* (2000b) all'Isola d'Elba, da Lenzi *et al.* (2006) al Monte Argentario. Nel Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, solamente di rado sono stati utilizzati metodi di censimento visivo per verificare lo stato di salute delle praterie; inoltre, mancano completamente dati sull'ittiofauna ad esse associata.

Nel periodo 1992-1994, nell'ambito di una campagna rivolta alla cartografia delle isole minori dell'Arcipelago Toscano, una ricerca del "Servizio Difesa Mare" del Ministero dell'Ambiente ha mappato le praterie di Posidonia. Queste sono risultate circondare senza soluzione di continuità il perimetro delle coste dell'Isola di Pianosa e dello Scoglio d'Africa; il che è da mettere in relazione con la natura prevalentemente sabbiosa dei fondali e con la leggera pendenza dei medesimi: parametri i quali consentono alla Posidonia di estendersi anche fino a varie centinaia di metri dalla costa (Piazzini *et al.*, 2000). Le coste dell'Argentario, per contro, non presentano praterie particolarmente estese a causa della limitata estensione del piano infralitorale (Lenzi *et al.* 2006).

Questo articolo è dedicato a due praterie di Posidonia dell'area toscana (Isola di Pianosa e Argentario) con differente grado di protezione ambientale al fine di confrontarne lo stato di salute e la fauna ittica.

### **Informazioni sulle due aree di lavoro: l'Isola di Pianosa e l'Argentario**

L'Isola di Pianosa si trova 13 km a Sud-Ovest dell'Isola d'Elba. Per estensione (1.025 ettari di superficie, 26 km di sviluppo costiero), è la quinta delle sette isole dell'Arcipelago Toscano. Di forma vagamente triangolare, essa ha una lunghezza di 5,8 km e una larghezza di 4,6 km. Deve il suo nome ("Planasia" per gli antichi) al fatto di essere quasi tutta piana con leggere ondulazioni (la sua

maggior elevazione dal mare infatti è di soli 29 metri e quella media è di 15-20 m). Oggi è abitata stabilmente solo da poche persone.

Pianosa rientra nel Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano (circa 18.000 ettari di terra e 60.000 ettari di mare compresi nel perimetro di "Pelagos", il Santuario Internazionale per la tutela dei mammiferi marini), il più grande parco marino d'Europa, e insieme alle isole di Gorgona, Montecristo e Giannutri presenta caratteristiche di elevato pregio naturalistico-ambientale (integrità dei fondali con biocenosi che hanno mantenuto intatte le loro peculiarità). Testimone ne è la presenza di popolamenti bentonici ed ittici ricchi e diversificati, con numerose specie (ad es. *Patella ferruginea*, *Pinna nobilis*, *Cyprea lurida*, *Corallium rubrum*) protette dalla Convenzione di Berna e con praterie a *P. oceanica* (habitat marino riportato nell'allegato I della Direttiva CEE 92/43) particolarmente estese intorno a Pianosa e alle Formiche di Montecristo.

L'Argentario costituisce un promontorio lungo circa 12 km in direzione delle isole del Giglio e di Giannutri, situato al confine tra la Toscana e il Lazio. Sebbene sia nato come isola, nel corso dei secoli è stato unito alla terra ferma per l'azione congiunta delle correnti marine e del fiume Albegna che hanno depositato due tomboli, di Giannella a nord e di Feniglia a sud, delimitanti la Laguna di Orbetello. Il promontorio ha un perimetro di circa 40 km e un'altezza massima di 635 m (Monte Telegrafo). Montuoso ovunque, ad ovest si erge ripido sul mare senza offrire alcun approdo, mentre a nord degrada più dolcemente nell'insenatura dove, da poco più di tre secoli, si è sviluppato il paese di Porto Santo Stefano. A sud vi è il piccolo paese di Porto Ercole, di origini più antiche in quanto abitato già in epoca romana. L'origine del nome *Argentarius* è incerta: alcuni affermano che derivi dallo splendore delle miche di alcuni giacimenti affioranti nelle cime del promontorio, mentre altri credono che discenda dall'attività svolta dalla *gens* Domizia che era proprietaria del luogo e vi svolgeva l'ufficio di *argentarii*, cioè banchieri.

I fondali dell'Argentario sono ripidi nel versante occidentale (-50 m in meno di un miglio dalla costa), mentre degradano più dolcemente in quelli settentrionale e meridionale. Trovandosi nella zona di transizione tra Mar Ligure e Mar Tirreno settentrionale, le sue acque circostanti (appartenenti alla piattaforma continentale che comprende tutto l'Arcipelago Toscano) sono soggette all'influenza ter-

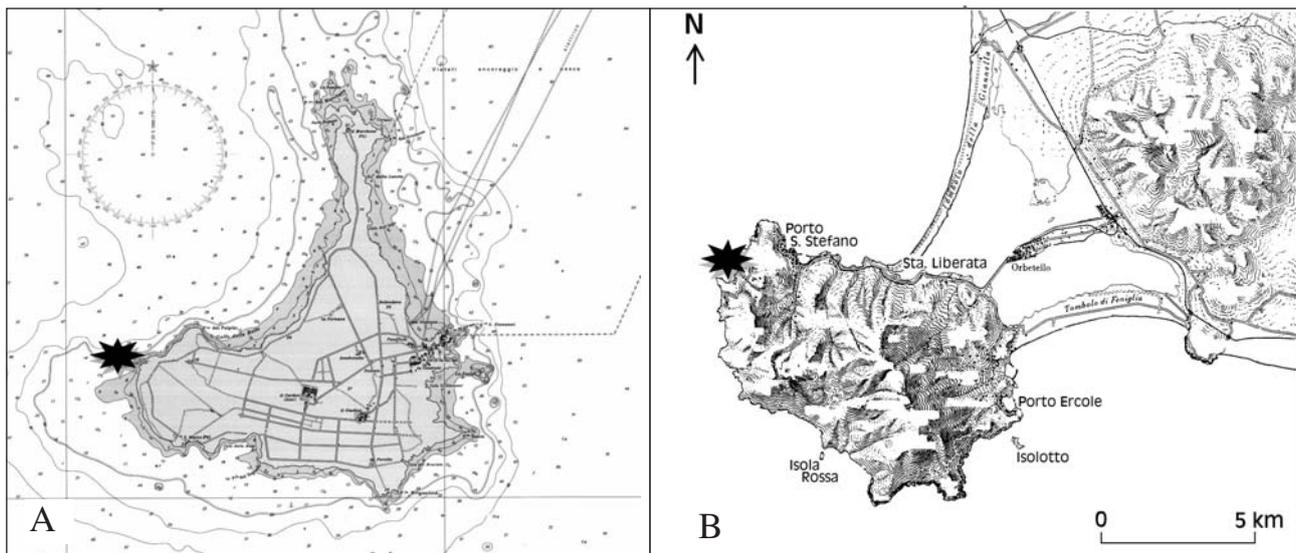


Fig. 6 - Aree di studio: A) Isola di Pianosa; B) Monte Argentario.

mica legata alle diverse dinamiche dei due bacini. A causa di ciò, la zona dell'Argentario è caratterizzata da acque fresche in estate e meno fredde in inverno, con conseguenze favorevoli sugli aspetti climatici (Astraldi *et al.*, 1993). In generale, le associazioni bentoniche del piano infralitorale risultano ricche di specie sia dal punto di vista qualitativo che da quello quantitativo. Le zone più prossime alla costa presentano un substrato molto vario: fangoso, sabbioso o ricoperto da detrito grossolano di natura vegetale e rocciosa. Vi dominano popolamenti animali e vegetali riferibili alla biocenosi dei fanghi terrigeni costieri (Bianchi *et al.*, 1993); diffusi sono anche quelli riconducibili alla biocenosi a *Posidonia*.

Alcuni tratti di costa sono soggetti a notevole pressione antropica, nonostante non esistano complessi industriali di rilievo. Tale pressione, legata principalmente alla pesca ed al turismo balneare (soprattutto nel periodo estivo, durante il quale la popolazione si incrementa da circa 13.000 ad oltre 50.000 abitanti), porta necessariamente ad un impatto non trascurabile sulla qualità dell'ambiente.

### Campionamento e tecniche di analisi

Nel mese di agosto del 2008 è stato effettuato un campionamento nelle praterie a *Posidonia* delle due aree considerate: una lungo la costa sud-occidentale dell'Isola di Pianosa, tra Punta del Pulpito e Punta Libeccio (Fig. 6A); l'altra lungo la costa settentrionale del Monte Argentario, nei pressi di Cala Cacciarella (Fig. 6B). Per quanto riguarda tale campionamento, si evidenzia che le tecniche di censimento visivo subacqueo consentono di lavo-

rare in termini qualitativi e quantitativi con un limitato impatto sull'ecosistema; sono quindi particolarmente adatte per analizzare le aree marine protette (Harmelin *et al.* 1995) come quelle considerate in questo articolo.

Per la fauna ittica si è fatto ricorso a due tecniche non distruttive: il transetto e il punto fisso (Harmelin-Vivien & Harmelin, 1975; Harmelin *et al.*, 1985; D'Anna *et al.*, 1999). Il transetto consiste di due cime piombate stese casualmente sul fondale in modo da definire un'area (*belt transect*) di 20 x 2 m. Per permettere che i comportamenti di attrazione e repulsione della fauna ittica siano mitigati è stato necessario attendere circa 15 minuti (De Girolamo & Mazzoli, 2001). In contemporanea gli operatori si sono spostati ad una distanza maggiore di 5 metri dal transetto per effettuare la tecnica del punto fisso, la quale consiste nel definire un cilindro ideale (con raggio di base di 5 m e altezza di dimensioni pressoché corrispondenti) utilizzando una cima piombata da porre sul fondo. Per 5 minuti sono stati censiti gli individui presenti all'interno del volume campionario, utilizzando classi di abbondanza definite secondo una serie geometrica (Harmelin, 1987): 1; 2-5; 6-10; 11-30; 31-50; 51-100; 101-500; >500. Il campionamento ittico di ogni area è stato effettuato sulla base di 16 transetti e 25 punti fissi.

Relativamente alla *Posidonia* si rileva che: la densità dei fasci fogliari (numero di fasci per m<sup>2</sup>) è stata stimata per mezzo di un quadrato in alluminio, con lato di 50 cm, lanciato casualmente sulle fronde della fanerogama; la copertura è stata invece valutata attraverso la tecnica del punto fisso, considerando una circonferenza di 5 m di raggio. Ogni operatore ha condotto almeno 3 repliche.

Al fine di caratterizzare i limiti inferiori e l'aspetto morfologico delle praterie sono state infine eseguite riprese subacquee lungo transetti perpendicolari alla linea di costa

L'analisi dei dati è stata effettuata tramite tabelle (matrici) specie-sito di censimento visivo (16 transetti e 25 punti fissi) per ciascuna delle due aree di campionamento, le variabili consistendo nelle specie individuate e nei loro relativi valori di abbondanza (media geometrica per ogni classe di abbondanza).

In generale, la presenza di molte specie in un transetto-punto fisso e la loro assenza in un altro forniva dati estremamente variabili, con conseguente perdita di valore della media e delle misure da essa derivate, come la varianza. Tale distribuzione di valori rendeva dunque preferibile l'uso di tecniche di analisi statistiche non parametriche. Così, per testare la significatività delle differenze nei valori di densità e copertura della *P. oceanica* e di abbondanza di specie ed individui della fauna ittica, è stato utilizzato il test di Mann Whitney. Per valutare la ricchezza e densità specifica sono state costruite curve di rarefazione specie-individui e specie-campione (Gotelli & Colwell, 2001). Inoltre si è fatto ricorso a due tecniche di analisi multivariata: quella di ordinamento *non-linear multi-dimensional scaling* (nMDS), per visualizzare graficamente le somiglianze-differenze tra biocenosi rivelate in termini di abbondanze relative delle diverse specie, e l'analisi delle *similarity percentages* (SIMPER). In ciascuna replica di campionamento, i dati di abbondanza delle singole specie sono stati trasformati logaritmicamente ed ordinati in una matrice di similarità basata sull'indice di Bray-Curtis. Infine, allo scopo di mettere in evidenza le specie che contribuivano maggiormente a determinare le differenze tra le stazioni, le stesse matrici di dati di abbondanza analizzate col nMDS sono state sottoposte alla procedura SIMPER.

## Analisi e commento dei risultati

I censimenti visivi mostrano che a Cala Cacciarella la prateria è pura e di tipo discontinuo. Il limite superiore è a circa 7 m di profondità, mentre il limite inferiore si trova alla profondità di 18 m circa ed è di tipo netto. Poiché, data la tipologia del limite inferiore, il fattore limitante della progressione della prateria sembra essere la luce, la scala di valutazione della trasparenza delle acque in funzione

della profondità media del limite inferiore di Pergent *et al.* (1995) consente di classificare queste acque come "poco trasparenti". D'altra parte, poiché la densità media dei fasci fogliari è risultata essere di  $354 \pm 34,80$  fasci/m<sup>2</sup> su una profondità media di 7 m, secondo Giraud (1977) la prateria sarebbe da considerare "rada" (fasci al m<sup>2</sup> compresi tra 300 e 400), mentre secondo Pergent *et al.* (1995) e Pergent-Martini *et al.* (1999) che tengono conto anche del fattore profondità, la prateria risulterebbe di "densità bassa". In ogni caso, alla profondità media di 7 m la copertura media è del  $63 \pm 25,4$  % .

Anche il posidonieto di Pianosa è puro e di tipo discontinuo. Il limite superiore è stato rilevato a circa 7-8 m di profondità. I primi metri d'acqua sono occupati da grossi blocchi di roccia crollati

| Famiglia        | Specie  |
|-----------------|---|
| Apogonidae      | <i>Apogon imberbis</i> (Linnaeus 1758)                  |
| Atherinidae     | <i>Atherina boyeri</i> (Linnaeus 1758)                  |
| Centracanthidae | <i>Spicara maena</i> (Linnaeus 1758)                    |
| Labridae        | <i>Coris julis</i> (Linnaeus 1758)                      |
|                 | <i>Labrus merula</i> (Linnaeus 1758)                    |
|                 | <i>Labrus viridis</i> (Linnaeus 1758)                   |
|                 | <i>Symphodus cinereus</i> (Bonnaterre 1788)             |
|                 | <i>Symphodus doderleini</i> (Jordan 1891)               |
|                 | <i>Symphodus mediterraneus</i> (Linnaeus 1758)          |
|                 | <i>Symphodus melanocercus</i> (Risso 1810)              |
|                 | <i>Symphodus ocellatus</i> (Forsskål 1775)              |
|                 | <i>Symphodus roissali</i> (Risso 1810)                  |
|                 | <i>Symphodus rostratus</i> (Bloch 1797)                 |
|                 | <i>Symphodus tinca</i> (Linnaeus 1758)                  |
|                 | <i>Thalassoma pavo</i> (Linnaeus 1758)                  |
| Mugilidae       | <i>Liza aurata</i> (Risso 1810)                         |
| Mullidae        | <i>Mullus barbatus</i> (Linnaeus 1758)                  |
| Pomacentridae   | <i>Chromis chromis</i> (Linnaeus 1758)                  |
| Serranidae      | <i>Epinephelus marginatus</i> (Lowe 1834)               |
|                 | <i>Serranus cabrilla</i> (Linnaeus 1758)                |
|                 | <i>Serranus scriba</i> (Linnaeus 1758)                  |
| Sparidae        | <i>Boops boops</i> (Linnaeus 1758)                      |
|                 | <i>Dentex dentex</i> (Linnaeus 1758)                    |
|                 | <i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus 1758)               |
|                 | <i>Diplodus sargus</i> (Linnaeus 1758)                  |
|                 | <i>Diplodus vulgaris</i> (E. Geoffroy St.-Hilaire 1817) |
|                 | <i>Oblada melanura</i> (Linnaeus 1758)                  |
|                 | <i>Sarpa salpa</i> (Linnaeus 1758)                      |
|                 | <i>Spondylisoma cantharus</i> (Linnaeus 1758)           |
| Tripterygiidae  | <i>Tripterygion sp.</i>                                 |

Tab. 1 - Lista delle specie ittiche rinvenute.

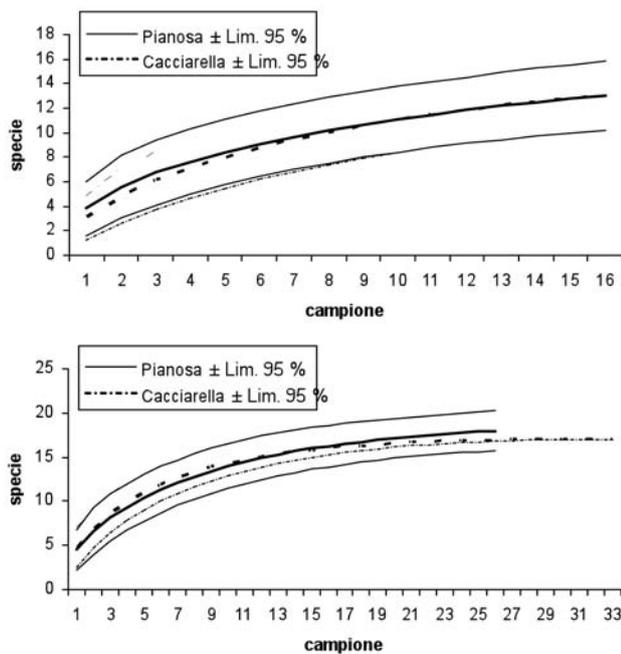


Fig. 7 - Curve di rarefazione specie-campione per i transetti (in alto) e per i punti fissi (in basso).

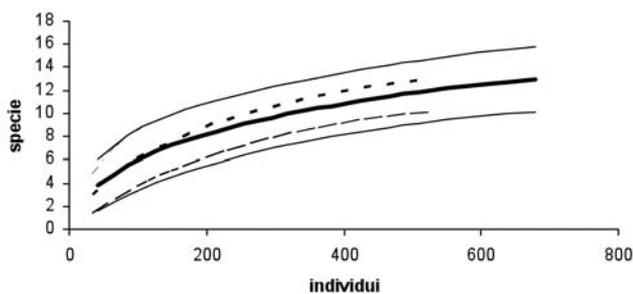


Fig. 8 - Curva di rarefazione specie-numero di individui.

dalla falesia e colonizzati dalle tipiche associazioni di alghe fotofile; data la presenza di questi massi, la prateria inizia perciò a svilupparsi poco più a largo, dove il substrato dapprima è misto e con componente di alghe fotofile ancora prevalente, poi diviene esclusivamente sabbioso. Il limite inferiore della prateria, rilevato a circa 30 m di profondità, presenta un margine erosivo, cioè caratterizzato dalla presenza di un netto gradino di *matte* esposta, con prevalenza di rizomi ortotropi: morfologia che, secondo Pergent *et al.* (1995), sarebbe dovuta essenzialmente a fattori idrodinamici. Secondo la scala di valutazione degli autori ora citati, le acque sono da classificarsi come “trasparenti”. Poiché la densità media dei fasci fogliari è risultata di  $374 \pm 19,50$  fasci/m<sup>2</sup> su una profondità media di  $12 \pm 2$  m, secondo Giraud (1977) la prateria sarebbe “rada”, mentre secondo Pergent *et al.* (1995) e Pergent-Martini *et al.* (1999) sarebbe di “densità normale”. La copertura media è del  $72 \pm 19,3$  %.

Né il numero di fasci per m<sup>2</sup> né la copertura

risultano essere statisticamente differenti (all’U test di Mann-Whitney) nelle due praterie studiate. A Cala Cacciarella, pertanto, l’impatto da ancoraggi non sembra aver prodotto sulla prateria a Posidonia gli stessi effetti deleteri che sono stati segnalati in altre località (Milazzo *et al.*, 2002; Ceccherelli *et al.*, 2007). Nel complesso, i valori di densità della Cacciarella e di Pianosa sono equiparabili a quelli riportati da altri autori per praterie francesi, spagnole e siciliane (Francour, 1997; Marbà *et al.*, 2002; Vega-Fernández *et al.*, 2005; Moranta *et al.*, 2006) e leggermente più bassi di quelli misurati nell’Isola d’Elba (Piazzi *et al.*, 2000) e lungo la costa delle Puglie, ad Otranto e nelle isole Tremiti (Guidetti *et al.*, 2000).

Per quanto riguarda la fauna ittica, sono state censite in totale 30 specie appartenenti a 10 famiglie (Tab. 1): per l’esattezza 28 specie nel posidonieto di Pianosa e 24 in quello della Cacciarella, con 23 specie comuni ad entrambe le aree di campionamento. Secondo il tipo di censimento visivo utilizzato, invece, sono state avvistate con i transetti 22 specie (22 a Pianosa e 15 a Cala Cacciarella) e con i punti fissi 27 specie (20 a Pianosa e 23 a Cala Cacciarella). Esemplari di Dentice (*Dentex dentex*), Sarago maggiore (*Diplodus sargus*), Cernia bruna (*Epinephelus marginatus*), Cefalo dorato (*Liza aurata*) e Tordo rosso (*Symphodus mediterraneus*) sono stati avvistati esclusivamente a Pianosa, mentre il Latterino capoccione (*Atherina boyeri*) è stato censito unicamente nel posidonieto della Cacciarella.

Tanto nei transetti quanto nei punti fissi, la densità di specie tra le due aree non ha mostrato differenze significative, come si può evincere dalla sovrapposizione degli intervalli di confidenza al 95 % nelle curve di rarefazione specie-campione (Fig. 7). Nemmeno le curve di rarefazione specie-numero di individui, che consentono di tarare il numero di specie rispetto al numero totale di individui osservati (in modo da confrontare, più che la densità di specie, la ricchezza specifica vera e propria per unità di campionamento) hanno mostrato differenze significative nei transetti (Fig. 8) e nei punti fissi (grafico non mostrato). D’altra parte, l’analisi multivariata con ordinamento nMDS ha mostrato una netta separazione delle comunità presenti nei siti di campionamento (Fig. 9), per cui se ne può concludere che i due siti hanno la stessa  $\alpha$  diversità (densità di specie per unità di campionamento e ricchezza specifica complessiva), ma composizioni specifiche differenti. Finalmente, l’analisi multiva-



Fig. 9 - nMDS ottenuto dai dati di abbondanza nelle due stazioni di campionamento per i punti fissi (in alto) ed i transetti (in basso). Triangoli neri: Pianosa. Triangoli bianchi: Cacciarella.

riata SIMPER per i transetti e per i punti fissi (Tab. 2) ha evidenziato quali sono le specie che determinano le differenze osservate nell'analisi nMDS. I giovani di Castagnola (*Chromis chromis*), ad esempio, sono più abbondanti nei transetti di Pianosa e rendono conto del 26 % della dissimilarità fra le associazioni ittiche delle due aree di lavoro.

L'analisi statistica (*U* test di Mann-Whitney) ha evidenziato che le specie con abbondanza significativamente differente ( $p < 0,01$ ) tra le due aree di studio erano: giovani e adulti di Sparaglione (*Diplodus annularis*) e di Castagnola, e adulti di Occhiata (*Oblada melanura*), di tre specie di Tordo (*Symphodus ocellatus*, *S. doderleini* e *S. melanocercus*) di Donzella (*Coris julis*) e di Latterino capaccione (*Atherina boyeri*). Soltanto queste ultime due specie erano più abbondanti alla Cacciarella.

Come in gran parte degli studi compiuti – sempre con la metodologia del VC – anche in altre praterie del Mediterraneo (cfr., ad es.: Francour, 1997, 2000; La Mesa & Vacchi, 1999; Claudet *et al.*, 2006; Deudero *et al.*, 2008), le famiglie maggiormente rappresentate sono risultate essere i Labridi, gli Sparidi e i Serranidi. In un posidonieto affiorante a S. Liberata (Orbetello), Micarelli *et al.* (2006) hanno individuato 21 specie. Spingendosi fino a 10

m di profondità in un fondale a Posidonia della Corsica, Francour (2000) ha individuato 17 specie, tutte quante presenti anche nella nostra indagine con la sola eccezione della Triglia di scoglio (*Mullus surmuletus*). E anche nell'analisi della comunità ittica del parco marino di Côte Bleue (Francia) sono state registrate da Claudet *et al.* (2006) 40 specie, che però diventano 35 se vi si escludono gli Scorpenidi e i Murenidi, tipici di substrati rocciosi.

Per spiegare le suddette differenze si può ricorrere al cosiddetto “effetto riserva”. È stato dimostrato che l'istituzione di misure di protezione ha effetti positivi sulle praterie di Posidonia in termini sia di aumento di densità e di crescita fogliare (Marbà *et al.*, 2002; Ferrari *et al.*, 2008) che di conservazione della relativa fauna ittica, sebbene fra i taxa dei pesci le risposte alla protezione siano altamente variabili (Claudet *et al.*, 2006). Misure di regolamentazione della pesca influiscono direttamente (in termini di cambiamenti di densità, taglia e biomassa) sia sulle specie *target* che su quelle *non target* e, indirettamente, sulla struttura della comunità (Guidetti & Sala, 2007). L'effetto tampone delle riserve è stato dimostrato per la fauna ittica (Francour, 2000). Nelle aree marine protette gli effetti benefici della protezione ricadono più sulle specie vulnerabili, quelle di valore commerciale o soggette a pesca ricreativa. Per queste specie *target* l'effetto riserva influenza aspetti sia quantitativi (ad es. aumento dell'abbondanza e della taglia) che comportamentali (ad es. cambiamenti nella distribuzione spaziale). A tale proposito è interessante notare come soltanto a Pianosa siano stati censiti

| Belt Transect                        |        | Circular Point                       |        |
|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|
| <i>Chromis chromis</i> (juvenile)    | 25,80% | <i>Chromis chromis</i> (juvenile)    | 18,90% |
| <i>Chromis chromis</i>               | 14,90% | <i>Atherina boyeri</i>               | 13,90% |
| <i>Coris julis</i>                   | 10,30% | <i>Coris julis</i>                   | 9,80%  |
| <i>Oblada melanura</i>               | 9,30%  | <i>Chromis chromis</i>               | 9,50%  |
| <i>Diplodus annularis</i> (juvenile) | 7,80%  | <i>Oblada melanura</i>               | 9,10%  |
| <i>Atherina boyeri</i>               | 5,70%  | <i>Sarpa salpa</i>                   | 6,60%  |
| <i>Sarpa salpa</i>                   | 5,50%  | <i>Diplodus annularis</i> (juvenile) | 5,90%  |
| <i>Diplodus annularis</i>            | 4,50%  | <i>Diplodus vulgaris</i>             | 3,60%  |
| <i>Spondylisoma cantharus</i>        | 4,20%  | <i>Diplodus annularis</i>            | 2,50%  |
| <i>Diplodus vulgaris</i>             | 3,60%  | <i>Spicara maena</i>                 | 2,30%  |
|                                      |        | <i>Spondylisoma cantharus</i>        | 2,10%  |
|                                      |        | <i>Boops boops</i>                   | 2,10%  |
|                                      |        | <i>Serranus cabrilla</i>             | 1,90%  |
|                                      |        | <i>Symphodus ocellatus</i>           | 1,80%  |

Tab. 2 - Risultati ottenuti dall'analisi SIMPER. Per ogni specie è riportato il contributo percentuale alla diversità tra i due siti.

individui di Cernia bruna e di Dentice, e come nella stessa località risulti più alta l'abbondanza di specie predatrici di alto valore commerciale quali lo Sparaglione e l'Occhiata.

Per spiegare le differenze nell'abbondanza di predatori (Sparaglione e Tordi) riscontrata a Pianosa può essere invocato il cosiddetto "effetto cascata" (Guidetti & Sala, 2007). La maggiore abbondanza di Tordi a Pianosa potrebbe tuttavia essere ascritta anche alla maggiore densità della prateria, essendo il genere *Symphodus* strettamente legato a tale *habitat*. Infatti uno studio condotto sulla diversità della fauna ittica di tre aree marine protette e una non protetta della costa slovena (Lipej *et al.*, 2003) non ha evidenziato differenze, salvo una maggiore densità di alcuni labridi (*Symphodus cinereus* e *S. roissali*) in una delle aree protette; tali differenze, comunque, sono state attribuite più all'estesa cintura di alghe presente nella zona che alle misure di protezione vigenti. Probabilmente per lo stesso motivo, o anche per effetto rifugio, i giovani di Castagnola e di Sparaglione risultano più abbondanti nella riserva integrale, dove una prateria più densa offre una maggiore protezione.

Un'altra possibile spiegazione delle differenze osservate nella struttura della fauna ittica va ricercata anche nell'ambiente circostante le praterie. È stato infatti dimostrato che la struttura dell'*habitat* è spesso responsabile una sostanziale porzione delle variazioni osservate nelle abbondanze delle faune ittiche (García-Charton & Perez-Ruzafa, 1999; García-Charton *et al.*, 2000).

La prateria di Pianosa è continua e forma un esteso anello tutt'intorno all'isola, caratterizzata da fondali sabbiosi molto bassi. Al contrario, la prateria di Cala Cacciarella è ubicata in un contesto molto differente, caratterizzato da substrati rocciosi e da un rapido aumento di batimetria. In tal caso specie *non target* o non direttamente legate alla prateria per l'alimentazione possono presentare abbondanze più alte in zone non soggette a protezione, le quali hanno un *habitat* più eterogeneo rispetto a quello delle zone protette (Guidetti & Sala, 2007). Ad Ustica, infatti, le distribuzioni della fauna ittica in zone a diverso grado di protezione risulterebbero determinate più da caratteristiche di *habitat* quali la profondità, che dal livello di protezione ambientale (La Mesa & Vacchi, 1999).

In uno studio di Guidetti (2000) sulle differenze tra faune ittiche della costa pugliese associate ad ambienti diversi (posidonieto, fondale roccioso e fondale sabbioso), la ricchezza specifica totale è

risultata comparabile tra fondale roccioso e prateria di Posidonia ma più bassa su fondo molle. Dal censimento di 20 specie nei posidonieti delle isole Tremiti e di 24 in quelli di Otranto, è risultato che le differenze erano legate soprattutto alla struttura e complessità degli *habitat*, con gli ambienti maggiormente strutturati (posidonieto e fondale roccioso) più simili tra loro. Anche altri studi (Vega Fernández *et al.*, 2005; Moranta *et al.*, 2006) hanno mostrato una relazione fra l'eterogeneità delle praterie e la distribuzione della fauna ittica, però con risposte diverse da parte delle differenti specie di quest'ultima. Più che sulla diversità o sulle caratteristiche strutturali delle praterie di Posidonia, pertanto, la protezione sembra agire sulla composizione delle specie ittiche.

Si ringraziano il capitano Maurizio e l'intero equipaggio della *Gigliola*: i video operatori subacquei Piero e Massimiliano, i quali hanno reso possibile la documentazione dello studio, e Sara, Matilde, Giuseppe, Alessandro, Marco e Fabio che, prestandosi alla campagna di campionamento, hanno permesso di raccogliere i dati.

## Testi citati

Astraldi M., Borghini M., Galli C., Gasparini G.P. & Lazzini E. (1993) - *Caratteristiche della circolazione nell'Arcipelago Toscano*. In: Progetto Mare. Regione Toscana, Università di Firenze, 37-44.

Bianchi C.N., Ceppodomo I., Niccolai I., Aliani S., De Ranieri S., Abbiati M., Dell'Amico F. & Morri C. (1993) - *Benthos dei mari toscani*. In: Arcipelago Toscano, Studio Oceanografico, Sedimentologico, Geochimico e Biologico. ENEA, Serie Studi Ambientali, 291-316.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Le Diréach L. & Ruitton S. (2007) - *Monitoring methods for Posidonia oceanica seagrass meadows in Provence and the French Riviera*. Sci. Report of Port-Cros national Park Fr., 22: 17-38.

Boudouresque C.F., Jeudi De Grissac A. & Olivier J. (1984) - *1<sup>st</sup> International Workshop on Posidonia oceanica beds*. G.I.S. Posidonie publ., Fr. 1: 454 pp.

Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E. & Gravez V. (1989) - *2<sup>nd</sup> International Workshop on Posidonia oceanica beds*. G.I.S. Posidonie publ., Fr. 2: 321 pp.

Brock V.E. (1954) - *A method of estimating reef fish populations*. Journal of Wildlife Management,

18: 297-308.

Buia M.C., Gambi M.C. & Dappiano M. (2003) – *I sistemi a fanerogame marine*. In: *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino Mediterraneo*. *Biologia marina mediterranea*, 10 (Suppl.): 145-189.

Bussotti S. & Guidetti P. (1999) – *Fish communities associated with different seagrasses systems in the Mediterranean sea*. *Naturalista siciliano*, 23 (Suppl.): 245-259.

Claudet J., Pelletier D., Jouvenel J.-Y., Bachet F. & Galzin R. (2006) – *Assessing the effects of marine protected area (MPA) on a reef fish assemblage in a northwestern Mediterranean marine reserve: Identifying community-based indicators*. *Biological conservation*, 130: 349-369.

D'Anna G., Lipari R., Badalamenti F. & Cuttitta A. (1999) – *Questions arising from the use of visual census techniques in natural and artificial habitats*. *Naturalista siciliano*, 23 (Suppl.): 187-204.

Davis G.E. & Anderson T.W. (1989) – *Population estimates of four kelp forest fishes and an evaluation of three in situ assesment techniques*. *Bulletin of Marine Science*, 44 (3): 1138-1151.

De Girolamo M. & Mazzoldi C. (1997) – *Littoral fish community of the island Lampedusa (Italy): a visual census approach*. *Italian Zoology*, 65 (Suppl.): 275-280.

De Girolamo M., Mazzoldi C. (2001) – *The application of visual census on Mediterranean rocky habitats*. *Marine Environmental Research*, 51: 1-16.

Deudero S., Morey G., Frau A., Moranta J. & Moreno I. (2008) – *Temporal trends of littoral fishes at deep Posidonia oceanica seagrass meadow in a temperated coastal zone*. *Journal of Marine Systems*, 70: 182-195.

Duarte C.M. (2002) – *The future of seagrass meadow*. *Environmental Conservation*, 29 (2): 192-206.

Ferrari B., Raventos N. & Planes S. (2008) – *Assessing the effect of fishing prohibition on Posidonia oceanica seagrass meadows in the Marine Natural Reserve of Cerbère-Banyuls*. *Acquatic Botany*, 88: 295-302.

Francour P. (1997) – *Fish assemblages of Posidonia oceanica beds at Port-Cros (France, NW Mediterranean): assessment of composition and long-term fluctuations by Visual census*. *Marine Ecology*, 18 (2): 157-173.

Francour P. (1999) – *A critical review of adult and juvenile fish sampling techniques in Posidonia*

*oceanica seagrass beds*. In: Vacchi M., Boyer M., Bearzi P. & La Mesa G. (eds), *Fish Visual Census in marine protected areas*. Proceedings of International Workshop. Ustica, 26-28 June 1997. *Naturalista Siciliano*, 23 (Suppl.): 33-57.

Francour P. (2000) – *Évolution spatio-temporelle à long terme des peuplements de poissons des herbieres à Posidonia oceanica de la reserve naturelle de Scandola (Corse, méditerranée nord-occidentale)*. *Cybium*, 24 (3) (Suppl.): 85-95.

Francour P., Ganteaume A. & Poulain M. (1999) – *Effects of boat anchoring in Posidonia oceanica seagrass beds in the Port-Cros National Park (northwestern Mediterranean Sea)*. *Acquatic Conservation: marine and Freshwater Ecosystems*, 9: 391-400.

García-Charton J.A. & Perez-Ruzafa A. (1999) – *Ecological heterogeneity and the evaluation of the effectsof marine reserves*. *Fish Research*, 42: 1-20.

García-Charton J.A., Williams I.D., Pèrez-Ruzafa A., Milazzo M., Chemello R., Marcos C., Kitsos M.S., Koukouras A. & Riggio S. (2000). - *Evaluating the ecological effects of Mediterranean marine protected areas: habitat, scale and the natural variability of ecosystems*. *Environmental Conservation*, 27: 159-178.

Giraud G. (1977) – *Essai de classement des herbiers de Posidonia oceanica (L.) Del.* *Botanica Marina*, 20: 487-491.

Gobert S., Laumont N. & Bouquegneau J.-M. (2002) – *Posidonia oceanica meadow: a low nutrient high chlorophyll (LNHC) system?* *BMC Ecology*, 2: 9.

Goni R., Harmelin-Vivien F., Badalamenti F., Le Diéach L. & Bernard G. (2000) – *Introductory guide to methods for selected ecological studies in marine reserves*. GIS Posidonie publ., France.

Gotelli N. & Colwell R.K. (2001) – *Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness*. *Ecology letters*, 4: 379-391.

Guidetti P. (2000) – *Differences among fish assemblages associated with nearshore Posidonia oceanica seagrass beds, rocky algal reefs and unvegetated sand habitats in the Adriatic Sea*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 515-529.

Guidetti P. & Sala E. (2007) – *Community-wide effects of marine reserves in the Mediterranean Sea*. *Marine Ecology Progress Series*, 335: 43-56.

Harmelin-Vivien M.L. & Harmelin J.G. (1975) – *Présentation d'une méthode d'évaluation in situ de la faune ichtyologique*. *Travaux Scientifiques du Parc National de Port Cros*, 1: 47-52.

- Harmelin-Vivien M.L., Harmelin J.G., Chauvet C., Duval C., Galzin R., Lejeune P., Barnabè G., Blanc F., Chevalier R., Duclerc J. & Lasserre G. (1985) – *Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: méthodes et problèmes*. Revue d'Ecologie. La Terre et la Vie, 40: 467-539.
- La Mesa G. & Vacchi M. (1999) – *An analysis of the coastal fish assemblage of the Ustica island marine reserve (Mediterranean Sea)*. Marine Ecology, 20 (2): 147-165.
- Lazzarotto A. (1993) – *Elementi di geografia e geomorfologia*. In: La Storia Naturale della Toscana Meridionale (Giusti F. & Pizzi A. eds), Milano, 11-87.
- Lenzi M., Roffilli R., De Pirro M., Micarelli P., Franchi E., Borghini F. & Focardi S. (2006) – *The meadows of Posidonia oceanica (L.) Delile along the Tuscany Southern Coast. (Mt. Argentario – Chiarone River, Italy)*. Biologia Marina Mediterranea, 13 (4): 51-55.
- Lipej L., Bonaca M.O. & Šiško M. (2003) – *Coastal Fish Diversity in Three Marine Protected Areas and One Unprotected Area in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic)*. Marine Ecology, 24 (4): 259-273.
- Marbà N., Duarde C.M., Holmer M., Martínez R., Basterretxea G., Orfila A., Jordi A. & Tintoré J. (2002) – *Effectiveness of protection of seagrass (Posidonia oceanica) populations in Cabrera National Park (Spain)*. Environmental Conservation, 29 (4) : 509-518.
- Micarelli P., Spinetti S. & Caruso T. (2006) – *Osservazioni preliminari sulla struttura della comunità ittica del posidonieto affiorante di S. Liberata (Orbetello)*. 37° Congresso della Società Italiana di Biologia Marina – Grosseto, 5-10 giugno 2006.
- Molinier R. & Picard J. (1952) – *Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français*. Annals of Institute of Oceanography, 27 (3): 157-234.
- Moranta J., Palmer M., Morey G., Ruiz A. & Morales-Nin B. (2006) – *Multi-scale spatial variability in fish assemblages associated with Posidonia oceanica meadows in the Western Mediterranean Sea*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 68: 579-592.
- Panayotidis P., Boudouresque C.F. & Marcot-Coqueugniol J. (1981) – *Microstructure de l'herbier de Posidonia oceanica (L.) Delile*. Botanica Marina, 24: 115-124.
- Pergent-Martini C., Leoni V., Pasqualini V., Ardizzone G.D., Balestri E., Bedini R., Belluscio A., Belsher T., Borg J., Boudouresque C.F., Boumaza S., Bouquegneau J.M., Buia M.C., Calvo S., Cebrian J., Charbonnel E., Cinelli F., Cossu A., Di Maida G., Dural B., Francour P., Gobert S., Lepoint G., Meinesz A., Molenaar H., Mansour H.M., Panayotidis P., Peirano A., Pergent G., Piazzzi L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri P., Shili A., Tomasello A. & Velimirov B. (2005) – *Descriptors of Posidonia oceanica meadows: Use and application*. Ecological indicators, 5: 213-230.
- Pergent - Martini C., Pergent G., Fernandez C. & Ferrat L. (1999) – *Value and use of Posidonia oceanica as a biological indicator*. MEDCOAST 99 - EMECS 99 Joint Conference. Land-Ocean Interactions: Managing Coastal Ecosystems E. Ozhan Eds. Antalya.
- Pergent G., Pergent-Martini C. & Boudouresque C.F. (1995) – *Utilisation de l'herbier a Posidonia comme indicateur biologique de la qualite du milieu littoral en Mediterranée: état de connaissance*. Mésogée, 54: 3-27.
- Piazzzi L., Acunto S. & Cinelli F. (2000) – *Mapping of Posidonia oceanica beds around Elba Island (Western Mediterranean) with integration of direct and in direct methods*. Oceanologica Acta, 23 (3): 339-346.
- Piazzzi L., Acunto S., Papi I., Pardi G. & Cinelli F. (2000) – *Mappatura delle praterie di fanerogame marine della Toscana: situazione al 1998*. Biologia Marina Mediterranea, 7 (1): 594-596.
- Short F.T. & Coles R.G. (2001) – *Methods for the measurements of seagrass growth and production*. In: *Global Seagrass Research Methods* (Short F.T., Coles R.G. eds), Elsevier, Amsterdam.
- Vacchi M. & La Mesa G. (1999) – *Fish visual census in Italian Marine Protected Areas: experiences and perspectives*. Naturalista Siciliano, 23 (Suppl.): 105-121.
- Vega-Fernandez T., Milazzo M., Badalamenti F. & D'Anna G. (2005) – *Comparison of the fish assemblage associated with Posidonia oceanica after the partial loss and consequent fragmentation of the meadow*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 65: 645-653.
- Vega-Fernandez T., Milazzo M., Badalamenti F. & D'Anna G. (2005) – *Comparison of the fish assemblage associated with Posidonia oceanica after the partial loss and consequent fragmentation of the meadow*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 65: 645-653.

## Il punto della situazione

*Il punto della situazione*



Tritone crestato italiano, *Triturus cristatus* (Laurenti, 1768)  
Foto "Il Graffio", Follonica

# La crisi alimentare mondiale: cause, inganni e proposte

Giovanni Monastra

Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione (INRAN), Via Ardeatina 546 – 00178 Roma  
monastra@inran.it

## L'esplosione della crisi

Nella primavera del 2008 si è assistito all'esplosione della crisi alimentare a livello mondiale. È stato raggiunto un picco di gravità che ha acuito di molto l'annoso problema della fame nei cosiddetti "Paesi in via di sviluppo". La sua pur lenta soluzione di questo dramma è sembrata sempre più lontana e difficile. Rimane un dato agghiacciante per la nostra epoca, tecnologicamente evoluta, che nel Novecento siano morti per fame 70 milioni di individui. È nell'auspicio di tutti impedire il ripetersi di questa strage, ma le premesse non sono molto incoraggianti. Tutti i programmi internazionali di aiuto allo sviluppo delle popolazioni soggette al flagello della fame sono stati sovvertiti e resi vani. Ricordiamo che tra gli obiettivi dell'United Nations Millennium Development Goals, stabiliti nel 2000, c'era quello di dimezzare il numero di coloro che soffrono di forti carenze alimentari tra il 1990 e il 2015: un traguardo sempre più lontano, in quanto i fatti (cfr.: The World Bank Group, 2008) stanno smentendo tutte le speranze e i programmi. Nonostante il suddetto ambizioso progetto, se nel 1996 circa 800 milioni di persone si trovavano in una gravissima situazione di denutrizione, nel 2006 il numero di "affamati" è addirittura salito a 854 milioni e si calcola che molto presto possa raggiungere il miliardo. Agli inizi di giugno dello scorso anno si è tenuto a Roma un vertice FAO dedicato a questo problema, che ha cominciato a colpire in forma gravissima le nazioni storicamente fragili sotto tale aspetto ed ha lambito addirittura alcune tra quelle che prima non erano tali. Le responsabilità di tutto questo ricadono su molte nazioni, non escluse alcune emergenti del cosiddetto Terzo Mondo le quali oggi manifestano lo stesso egoismo e la stessa volontà di potenza che ieri denunciavano nel comportamento dei Paesi ricchi. Rispetto al crescente incubo della fame mondiale, dal vertice FAO non è scaturita alcuna risposta convincente e condivisa, tanto che

in *media*, per descrivere l'evento, hanno parlato di "rissa finale", "fallimento" e "assenza di strategie". L'attuale crisi – notano gli esperti – non colpisce solo gli emarginati che sopravvivono con meno di un dollaro al giorno, cioè sotto la soglia della povertà estrema, ma spesso anche gli abitanti delle città dei Paesi emergenti, illusi di essersi affrancati per sempre dalla fame. Alcuni affermano che l'economia globalizzata sta facendo regredire la situazione socio-economica di molti popoli, soprattutto in Africa, Asia e America Latina. Quello che è certo, è che l'attuale e gravissima situazione di crisi risulta dall'intrecciarsi di numerosi fattori agenti a livello mondiale.

## Le derrate alimentari

L'aggravamento della situazione alimentare in varie aree del mondo è stato determinato dalla minore disponibilità di derrate (*commodities*), dovuta a varie cause che esamineremo più avanti. In presenza di un'offerta insufficiente e di una domanda in aumento, si è così assistito ad un imponente incremento dei prezzi.

La definizione di "derrate alimentari" non sempre è espressa in modo corretto dai *mass media*, che spesso la considerano *tout court* sinonima di "cereali": cosa non del tutto rispondente al vero, malgrado questi ne costituiscono una notevolissima parte. La botanica sistematica classifica i cereali (da Cerere, l'antica dea mediterranea delle messi) come piante monocotiledoni della famiglia delle Graminacee. Vi appartengono mais, frumento, riso, avena, orzo, segale, miglio, farro, sorgo, ecc. Al di fuori di questo gruppo di alimenti troviamo la soia, altra importante "derrata" che però non è un cereale, in quanto fa parte delle piante dicotiledoni della famiglia delle Leguminose. Alcuni fra i suddetti prodotti sono molto importanti non solo per l'alimentazione umana, ma anche per quella animale. Si tratta della soia e del mais (insilato),

che sono ampiamente usati negli allevamenti per alimentare bovini, maiali, ecc. Per motivi di sintesi e chiarezza, in questa sede ci limiteremo a parlare delle derrate alimentari più significative, e cioè il *mais*, il *riso*, il *frumento* e la *soia*.

Tra il 2007 e il 2008, dopo decenni di stasi o di lenta riduzione (salvo il periodo della crisi petrolifera, nel 1974-75), i prezzi di queste derrate sono drasticamente cresciuti. Ciò ha creato problemi perfino negli USA, il Paese più prospero e ricco del pianeta, che ha dovuto aumentare i buoni-cibo per i suoi cittadini indigenti. Eppure, nonostante alcune situazioni critiche locali, nel 2007 il raccolto globale delle quattro principali derrate aveva raggiunto un ottimo risultato: circa 2,18 miliardi di tonnellate, così ripartiti per singolo prodotto (Tab. 1):

|               |             |
|---------------|-------------|
| Riso          | 650         |
| Frumento      | 593         |
| Mais          | 703         |
| Soia          | 236         |
| <i>Totale</i> | <i>2182</i> |

Tab. 1 - Raccolto globale (in milioni di tonnellate) nell'anno 2007.

Aggiungiamo per completezza che, siccome già nei primi mesi del 2008 le previsioni per le rese del raccolto erano ottimistiche, non esistevano alibi di sorta per giustificare eventuali rincari basati su un futuro preoccupante. D'altra parte i dati successivi hanno confermato le previsioni relative agli incrementi: tanto che, ad esempio, nel 2008 la produzione del frumento ha raggiunto 683 milioni di tonnellate.

Nonostante questo quadro positivo, nella primavera dell'anno scorso la soia, il riso e il frumento hanno quasi raggiunto il costo di 400 dollari per tonnellata, mentre il mais ha superato di poco i 200 dollari per tonnellata. Fra il marzo del 2007 e il marzo 2008, l'aumento percentuale dei prezzi è stato spettacolare e tragico per i popoli dei Paesi in via di sviluppo (dati FAO: Tab. 2):

|          |       |
|----------|-------|
| Soia     | +87%  |
| Mais     | +31%  |
| Riso     | +74%  |
| Frumento | +130% |

Tab. 2 - Aumento dei prezzi dal marzo 2007 al marzo 2008.

Malgrado in quei mesi i soliti "esperti" prevedessero per il periodo successivo un analogo *trend* di crescita, i fatti hanno contraddetto la loro previsione. Già in agosto, infatti, alla borsa di Chicago

il prezzo della soia è diminuito del 34%, seguito da quello del mais e delle altre derrate con un decremento di costi del 30-40%. Nessun fattore produttivo può essere addotto per giustificare una riduzione così repentina, che – fatto grave – non sempre è stata seguita da un corrispondente calo dei prezzi al dettaglio; anzi, a volte c'è stato addirittura un rincaro. Citiamo, ad esempio, il fatto che alla borsa di Foggia nel settembre 2008 il costo del frumento è diminuito del 50% rispetto ad inizio anno, mentre nello stesso periodo quello della pasta è aumentato mediamente del 20%. Ciò dimostra altresì, nel processo generale qui esaminato, la compresenza di fenomeni assai poco chiari (per usare un eufemismo): tanto che in Italia è dovuta intervenire l'Antitrust. Probabilmente si andrà avanti con un andamento instabile ed in parte schizofrenico. Certo è che questi paradossali cambiamenti di prezzi all'origine, talora veramente imprevisi, costituiscono un'ennesima riprova del notevole ruolo esercitato da fattori esogeni in un ambito così delicato e importante.

## La fame nel mondo e le sue cause

*Al di là dei singoli aspetti, il quadro generale è preoccupante. Poiché la tendenza generale manifestatasi da qualche tempo ha portato ad una forte diminuzione delle scorte mondiali di derrate alimentari, c'è da temere per il futuro.* Molti popoli sono a rischio, in quanto potrebbero non disporre più del minimo necessario per sopravvivere. Si tratta di varie nazioni, prevalentemente ma non solo del continente africano (per l'*Africa*: il Lesotho, la Somalia, lo Swaziland, lo Zimbabwe, l'Eritrea, la Liberia, la Mauritania, la Sierra Leone, il Burundi, la Repubblica Centro Africana, il Ciad, il Congo, la Costa d'Avorio, l'Etiopia, il Ghana, la Guinea-Bissau, il Kenya, l'Uganda, il Sudan, la Nigeria, il Senegal; per l'*Asia*: l'Iraq, l'Afghanistan, la Corea, il Bangladesh, la Cina, il Nepal, lo Sri Lanka, il Tajikistan, Timor est, il Vietnam, le Filippine, l'Armenia; per l'*America Latina*: Haiti, la Repubblica dominicana, il Nicaragua, l'Equador, la Bolivia; per l'*Europa*: la Moldavia). Le cause di questa crisi sono situate a vari livelli e comprendono tanto fattori di origine più o meno recente quanto, specie per i Paesi dell'emisfero sud, fattori a carattere cronico le cui radici affondano in scompensi complessi ed operanti ormai da lungo



Risaia del vicentino in febbraio.

tempo. Naturalmente l'intreccio dei due ordini di cause non può che aggravare la situazione.

Vediamo i motivi di base di questo quadro allarmante, facendo in parte riferimento a quanto esposto durante un convegno su "Prezzi agricoli ed emergenza alimentare" organizzato dal Gruppo 2013 e tenutosi a Roma nel luglio del 2008. Tra i vari relatori, Fabrizio De Filippis, docente del Dipartimento di Economia all'Università Roma Tre, ha illustrato in modo particolarmente chiaro ed organico i fattori sia strutturali che congiunturali della crisi, ricordando che i primi provocano andamenti tendenziali e non esplosivi dei prezzi, mentre i secondi, specie se si innestano sui primi, provocano i "picchi" (De Filippis, 2008, pp. 18-19).

I fattori strutturali si sono presentati sul fronte sia dell'offerta che della domanda. *Il primo ambito, quello dell'offerta, riguarda soprattutto – oltre ai prodotti lattiero-caseari – il riso e il frumento, colpiti da minore tasso di crescita delle rese e da minore profittabilità delle produzioni agricole a causa degli aumenti dei costi di produzione e del deterioramento delle ragioni di scambio: il che ha comportato una riduzione degli investimenti in agricoltura. Il secondo ambito, quello della domanda, ha visto invece l'aumento delle importazioni di carne da parte della Cina e dell'India, con il conseguente incremento dell'uso, in particolare, di soia da destinare a mangime e con il crescente impiego di colture normalmente adibite a fini alimentari, come ad esempio il mais, per la produzione di biocarburanti (con uno spostamento, quindi, dalla filiera "cibo" alla filiera "energia").* Come accennato, tali cause, sebbene non possano essere le uniche responsabili della "fiammata" dei prezzi, sicuramente rimangono a monte della progressiva riduzione strutturale delle riserve

alimentari: tanto che negli ultimi dieci anni si è osservata, nel caso del frumento e del mais, una preoccupante diminuzione del rapporto tra scorte ed impieghi da circa il 35% al 15-20%.

Tra i fattori congiunturali, De Filippis annovera alcuni casi di raccolti penalizzati da *andamenti climatici sfavorevoli*, forse legati al più generale quadro dei mutamenti climatici da molti paventati in questi anni (negli ultimi due anni, ad esempio, l'*export* di cereali dell'Australia si è ridotto del 60%). In proposito, però, si potrebbe obiettare che nel complesso della produzione mondiale l'andamento non è stato realmen-

te sfavorevole in modo significativo, come già rilevato, perché i parziali dati negativi sono stati compensati da raccolti migliori in altre nazioni; per cui l'importanza di tale aspetto, a nostro parere, è assai modesta. Inoltre un secondo fattore congiunturale, certo importante, è da ricercarsi nella *crescita del prezzo del petrolio, con evidenti riflessi su quello del gasolio* che è il carburante usato dalle macchine agricole (in aprile 2008 +19,3% rispetto allo stesso mese del 2007). Andrebbe anche aggiunto il *forte lievitare del prezzo dei fertilizzanti*. Questi due ultimi fattori hanno fatto salire alle stelle i costi di gestione in agricoltura. Un terzo fattore, anch'esso preoccupante, è riconducibile agli effetti della crisi finanziaria che ha colpito in modo generalizzato tutte le economie: *lo scoppio della bolla immobiliare ha liberato una grande liquidità alla ricerca di impieghi remunerativi sui mercati, che a sua volta ha alimentato la speculazione sui prodotti agricoli*" (De Filippis, 2008, p. 20).

Si è quindi creata una "spinta cumulativa" tra vari fattori. La novità, rispetto al passato, risiede soprattutto negli ultimi aspetti citati; ai quali De Filippis aggiunge un ulteriore elemento, e cioè le *"politiche di risposta congiunturale messe in campo dai diversi Paesi per difendersi dagli effetti della crisi"* (De Filippis, 2008, p. 21) e consistenti nella riduzione o addirittura proibizione delle esportazioni di cereali da parte di produttori, nell'accumulo di riserve strategiche, in sussidi alle importazioni, ecc. Nel complesso l'effetto congiunto di tutti questi fattori ha portato a ridurre l'offerta e ad incrementare la domanda sui mercati internazionali, con le inevitabili e gravi ricadute collegate a questo fenomeno che rappresenta un'innequivocabile *"forte discontinuità rispetto agli*

*andamenti del passato e probabilmente... destinata a lasciare il segno” (De Filippis, 2008, p. 22).*

Vorremmo altresì aggiungere che sono da contestare le affermazioni secondo le quali, tra le cause della crisi attuale, andrebbe annoverato l’uso dei sussidi in agricoltura adottato da molti paesi occidentali. Sull’inconsistenza di tali affermazioni sono intervenuti alcuni studiosi come Claudio Malagoli (2006, pp. 254-258), i quali hanno negato con argomentazioni convincenti che i sussidi danneggino veramente i popoli dei Paesi in via di sviluppo.

Esaminiamo adesso più in profondità alcune tra le cause della crisi alimentare mondiale.

Circa la conversione di molte colture di soia e mais a fonte di biocarburanti (biodiesel) – con riduzione quindi della disponibilità per uso alimentare – va evidenziato, per capire l’ampiezza del fenomeno, che negli Stati Uniti, a seguito degli incentivi statali agli agricoltori, circa un terzo del mais prodotto annualmente viene indirizzato alla produzione di carburante “verde”. Malgrado questo fatto venga considerato da molti come un successo della tecnologia sostenibile, proprio in ambito scientifico si comincia a contestarne la convenienza dal punto di vista sia economico che ambientale. A tale proposito potremmo ricordare che gli USA, solo per sostituire il 10% del consumo di benzina e gasolio, dovrebbero impiegare ben il 43% delle coltivazioni alimentari per la produzione di bioetanolo, con effetti disastrosi sui prezzi delle derrate. L’alternativa sarebbe il disboscamento di nuove aree da destinare a colture per la produzione di biocarburanti: ma poiché, com’è ben noto, le foreste assorbono gas serra, tale operazione si tradurrebbe in un incremento indiretto nelle percentuali atmosferiche di quest’ultimo. D’altra parte, come hanno mostrato Righelato & Spracklen (2007) e Scharlemann & Laurance (2008), i combustibili derivati dal mais statunitense, dalla soia brasiliana e dall’olio di palma della Malesia sono suscettibili di provocare un impatto ambientale più dannoso di quello dei combustibili fossili: tanto che risulterebbero decisamente preferibili i biocombustibili derivati dai prodotti residui come l’olio da cucina riciclato o l’etanolo ricavato da erba o legname. E i risvolti negativi del carburante verde sono stati messi in evidenza anche da Fargione *et al.* (2008).

Considerato questo indirizzo strategico della politica USA, non meraviglierà sapere che il prezzo del mais è strettamente legato a quello del

petrolio, variando esso in relazione alle quotazioni di quest’ultimo. *Si tratta di un vero e proprio delitto, di un’aggressione cinica e spietata, in nome del profitto, contro molti popoli del pianeta e il loro diritto alla vita.* Né si può trascurare di denunciare, con riferimento alla crisi finanziaria già citata, la presenza di torbidi fenomeni speculativi il cui impatto sull’andamento dei prezzi è stato stimato intorno al 30%. Per realizzare grandi profitti, una consistente parte dei fondi di investimento si è infatti allontanata dalle azioni e dai mercati immobiliari per spostarsi, con piena indifferenza nei confronti delle ricadute sociali negative, verso il settore delle derrate alimentari. Di fronte a questo quadro alcuni commentatori, più o meno esperti, hanno affermato che la soluzione risiede nell’aumento della produzione agricola, ritenuta insufficiente. È una risposta molto generica, che non tiene conto di fattori come la speculazione o il lievitare del prezzo del carburante, anche se va detto che oggi quest’ultimo elemento, dato il calo delle quotazioni dell’oro nero, riveste una minore importanza. Al di là del fatto che l’incremento delle rese agricole è possibile attraverso varie vie, bisogna chiedersi se risieda proprio qui il vero problema, quello più importante a monte dell’attuale crisi: crisi che alcuni, dato il momentaneo calo dei prezzi delle derrate, ritengono in gran parte superata, mentre altri ne prevedono il ripresentarsi in forme analoghe nel prossimo futuro. Questi ultimi, infatti, ritengono che la recessione globale nella quale ci troviamo costituisca una minaccia ancora più grave per i popoli poveri, i quali spendono circa il 50-70% delle loro entrate economiche per l’acquisto di cibo (von Braun, 2008).

Dobbiamo quindi affrontare il problema nel suo livello più profondo, riconoscendo che *il flagello della fame non ha origine da una carenza reale di alimenti, ma deriva dalla povertà dei Paesi del Terzo Mondo, in cui esistono, e sono in costante crescita, forti contraddizioni e gravi situazioni di degrado.* In tali contesti, anche una parziale autosufficienza alimentare diventa sempre più problematica e rara. Ad esempio, Paesi come l’Etiopia e lo Zimbabwe, che in passato erano dotati di importanti risorse agricole, oggi si trovano in gravissime difficoltà: nel primo caso per motivi legati tanto a cambiamenti climatici quanto al flagello della guerra con l’Eritrea, conclusasi alcuni anni fa; nel secondo caso per motivi connessi ad un regime politico dispotico, predatore ed incapace, che ha gettato la nazione nel

caos. È inoltre noto che il 78% dei bambini denutriti di età inferiore ai cinque anni vive, paradossalmente, in Paesi dove esiste, o per lo meno è esistita, una sovrapproduzione nel settore agricolo: l'India, ad esempio, è stata a lungo un Paese esportatore netto di cereali, pur avendo al contempo una popolazione con gravissime carenze nel campo dell'alimentazione. Ancora: dobbiamo ricordare che negli anni ottanta c'era un *surplus* alimentare a livello mondiale, ma non per questo il problema della fame vide sostanziali miglioramenti della situazione. La causa della grave denutrizione cronica risiede nel fatto che molte popolazioni sono del tutto prive di risorse economiche, con l'ovvia conseguenza di non avere accesso al cibo in quantità e qualità soddisfacente. Oggi nei Paesi in via di sviluppo il 50-70% della popolazione rurale si situa sotto la soglia di povertà e con l'attuale crisi quest'area di sofferenza è destinata ad allargarsi. A questa drammatica realtà ne va associata un'altra, e cioè che *la maggior parte dei cereali è usata per alimentare bestiame*. Il problema – come già osservato - si è acuito adesso, con l'aumento della richiesta di carne sul mercato mondiale da parte di popoli "emergenti" come quelli cinese e indiano, ma esiste da tempo. Nel mondo ci sono circa 1,3 miliardi di bovini che occupano, direttamente o per le colture necessarie a nutrirli, quasi un quarto della superficie terrestre, il che dovrebbe far meditare noi occidentali. Da decenni gli USA impiegano il 70% delle granaglie da loro coltivate per nutrire gli animali. Analogamente, il Sud America e l'Asia hanno enormi estensioni di terreni coltivate a soia per produrre mangimi. In America Latina, il 20% degli agricoltori possiede l'80% delle terre coltivabili, mentre il restante 20% di tali terre è lavorato da contadini proprietari di piccole estensioni. Si può affermare che, in generale, mentre i grandi proprietari terrieri esportano i loro raccolti per alimentare i bovini degli allevamenti europei, i piccoli agricoltori sostengono il peso più rilevante nel fornire alimenti ad uso umano (così è, ad esempio, per il 50% delle patate, il 60% del mais e il 70% dei fagioli) (Monastra & Rossi, 2003). Con tutta evidenza esiste quindi una situazione anomala, sbilanciata, che deriva dall'*imposizione di un certo tipo di modello alimentare occidentale, dannoso per la salute (eccessivo consumo di carne) e socialmente ingiusto*. Senza considerare l'impo-

sciente diffusione delle monoculture legata al tipo di produzione sopra descritto: un problema che del resto è di lunga data, considerando che la diffusione delle monoculture è iniziata in epoca coloniale e poi è stata incrementata dalla stessa Rivoluzione Verde.

Veniamo ora all'altro aspetto del problema "fame nel mondo": quello messo in rapporto con un incremento demografico ritenuto da decenni continuo ed inarrestabile, nonché regolarmente utilizzato per dimostrare la necessità di aumentare drasticamente in tempi brevi la produzione di derrate per nutrire popolazioni sempre più numerose. Negli ultimi anni le previsioni catastrofiche sono state smentite, oltre che da demografi attenti ai cambiamenti come Wolfgang Lutz (Lutz *et al.*, 2001), anche dallo stesso Department of Economics and Social Affairs – Population Division U.N. (2002-2003). Ciononostante, molti commentatori assai poco aggiornati continuano a ripetere i vecchi allarmi sull'incombente "bomba demografica", un mito del recente passato rivelatosi falso. Il nuovo scenario è il seguente: *il mondo conta oggi 6,3 miliardi di persone e il numero è destinato a crescere fino a 8,9 miliardi nell'anno 2050, e non fino agli 11 miliardi stimati in precedenza; anzi, dopo altri 25 anni, nel 2075, la popolazione dovrebbe addirittura diminuire di mezzo miliardo di persone. Si prevede, insomma, che dopo una riduzione di crescita abbia luogo un ristagno seguito da una contrazione*. Entro la metà di questo secolo il tasso di natalità scenderà in tutto il mondo fino ad attestarsi ai livelli occidentali. I costumi stanno mutando anche nel Terzo Mondo: tant'è che le famiglie dei Paesi poveri cominciano a limitare il numero dei figli esattamente come quelle dei Paesi industrializzati. D'altra parte, il flagello dell'AIDS nei Paesi in via di sviluppo (il 95% dei malati di questa malattia si trova in questi Paesi) sta dando un tragico contributo al contenimento demografico del pianeta, oltre che all'aumento della povertà. L'AIDS, infatti, ha provocato non soltanto spopolamento, ma anche gravi ripercussioni nei nuclei familiari – quasi tutti colpiti dalla perdita, in particolare, di individui adulti adibiti ai lavori agricoli e quindi dotati anche di esperienza nel settore, esperienza che è andata perduta: un fatto che ha comportato tanto danni economici alle famiglie (cure mediche, ecc.), quanto condizioni sociali di disgregazione e povertà crescenti.



Piantagione di mais in Brasile.

### Gli OGM contro la fame: la propaganda

Sebbene il problema della fame nel mondo si presenti nei termini sopra riportati, nelle proposte che vengono fornite per affrontarlo è spesso centrale la richiesta di un aumento drastico della produzione di derrate, cui segue quasi sempre il richiamo alla necessità di fare ricorso agli OGM come soluzione salvifica. Per semplicità, nel presente articolo useremo questa sigla senza introdurre le differenziazioni giustamente suggerite da Kaare Nielsen (2003), anche se il nostro discorso vale principalmente per gli organismi realmente transgenici (OT) (sul tema degli OGM e dell'ingegneria genetica in generale rimandiamo a Monstra, 2002, 2004, 2006 e soprattutto all'ottimo libro di Bizzarri, 2008).

Come vedremo più avanti, in vari casi la scarsa credibilità della propaganda pro-OGM appare ben chiara, considerata l'evidente incompetenza manifestata da numerosi personaggi coinvolti nella sponsorizzazione acritica di tali prodotti. È da denunciare, in ogni caso, la scorrettezza di alcuni di essi, che, avvalendosi in modo spesso improprio della posizione di rilievo da loro rivestita nel mondo dei *mass media*, cercano di imporre le proprie posizioni ai lettori ed agli ascoltatori senza fornire nemmeno dati e fatti inoppugnabili. D'altra parte, anche coloro che sono realmente esperti in uno specifico settore scientifico non dovrebbero pretendere di inoltrarsi in altri ambiti, dei quali invece mostrano di possedere una conoscenza non più che generica e superficiale. Il termine "esperto" non è stirabile come un elastico e non può essere assoggettato ad una del tutto assurda proprietà transitiva. Naturalmente chiunque ha diritto

di esprimere pareri su tutto, ma al di là della propria area di specifica esperienza e preparazione non può arrogarsi di alcun "principio di autorità", per cui dovrebbe confrontarsi nei dibattiti unicamente sulla base di dati scientifici ben documentati. Partendo dall'assunto che la produzione attuale di derrate alimentari è gravemente insufficiente (affermazione del tutto falsa, come vedremo), i fautori "talebani" degli OGM vogliono far credere che la loro ricetta risolverebbe in gran parte la crisi attuale. Di fatto, essi ripetono quanto si può leggere spesso nella pubblicità delle aziende produttrici di sementi transgeniche o nei lavori scientifici degli anni

novanta, spesso scritti da ricercatori legati alle suddette aziende (Kishore & Shewmaker, 1999). Ad esempio Bill Emmott, giornalista esperto di economia, ha scritto sul *Corriere della Sera*: "Oggi emerge una nuova tecnologia che promette straordinari rendimenti, con minor impiego di concimi e insetticidi: è l'ingegneria genetica" (Emmott, 2008). Secondo l'autore gli alimenti e le piante transgeniche sono assolutamente sicuri, per cui bisogna "spalancare le porte all'innovazione" combattendo contro le diffidenze dei consumatori e superandole. Anche se, in base alle conoscenze finora disponibili, si può convenire sulla sicurezza per l'uomo degli alimenti transgenici *attualmente in commercio*, ci sembra scorretto garantire, come fa Emmott, risultati strabilianti del tutto privi di riscontri nella realtà concreta. *Si tratta di pura propaganda*. Anzi, proprio chi, con un approccio rigorosamente "laico", vuole sostenere l'utilità degli OGM, o quanto meno di alcuni OGM in determinati contesti (quindi in modo differenziato e non totalitario e generico), dovrebbe rifiutare questi interventi di tipo ideologico ed aprioristico, dove i fatti vengono sostituiti da fantasie facilmente demolibili. Un altro esempio di assai discutibile informazione sugli OGM lo riportiamo da un testo di due giornalisti, Riccardo Cascioli e Antonio Gaspari, le cui competenze in campo scientifico non possono che lasciare dubbiosi. Così essi scrivono: "Le nuove piante geneticamente modificate (GM) garantiscono una maggiore produttività, con meno concimi chimici e pesticidi, in meno spazio e con meno acqua. Questo significa una maggiore disponibilità di cibo per i paesi in via di sviluppo" (Cascioli & Gaspari, 2004, pp. 118-119). La prosa è veramente esemplare e ben sinte-

tizza il tentativo di mischiare realtà e fantasia, fatti e speranze. Emblematico è l'uso del tempo presente, quando i nostri "esperti" affermano che gli OGM "garantiscono" una serie di prestazioni che in realtà sono quasi tutte ancora da dimostrare. Infatti le colture transgeniche attualmente in commercio (per il nostro discorso interessano soprattutto il mais e la soia) *non* producono di più (come vedremo più avanti portando fatti ben precisi), *non* hanno bisogno di meno acqua, *non* richiedono meno concimi chimici. Sul discorso della riduzione dei pesticidi (diserbanti per il mais e la soia ed antiparassitari per il mais) c'è del vero solo in alcuni casi, anche se nuovi dati stanno dimostrando che tale processo, certo positivo, sembra soggetto ad un'inversione. D'altra parte questo intervento propagandistico, come tanti altri del genere, trascura del tutto di menzionare un fatto rilevante: mentre negli USA durante gli ultimi decenni l'utilizzo di agrofarmaci è rimasto alto, nell'UE si è avuta una contrazione di esso del 25% pur lavorando con colture convenzionali. Ciò dimostra che in molti casi si possono benissimo ottenere gli stessi risultati perseguiti tramite l'uso degli OGM, percorrendo però vie diverse. Va notato, infine, che Cascioli e Gaspari sembrano ignorare che non basta disporre a livello sperimentale di piante ingegnerizzate capaci di produrre di più o di poter crescere in ambienti con poca acqua. Questo è solo il primo passo. Il passo successivo consiste nel dimostrare che tali piante producono veramente alimenti salubri, non sono troppo deboli (ad esempio molto soggette a certi parassiti), non sono suscettibili di creare nuovi problemi ambientali, ecc. In altre parole, prima dell'immissione in commercio, *bisogna escludere la presenza di effetti collaterali non voluti*. In più bisogna verificare che, una volta messi in commercio, non emergano altri problemi impreveduti che siano in grado di portare all'insuccesso del prodotto. Chi fa vera informazione non dovrebbe basarsi solo sulle notizie lasciate filtrare dalle varie aziende del settore, come la Monsanto, o citando documenti che apparentemente sono il frutto del lavoro di qualificate Società Scientifiche ma che, in realtà, sono stati stesi da pochi loro esponenti e non sono mai stati approvati in modo ufficiale da tutti gli aderenti a tali Società (anche se così viene fatto credere ai lettori). Un terzo esempio di propaganda ci viene fornito da quanto affermato perentoriamente in un documento della Associazione Americana dei Coltivatori di Soia, dove leggiamo che la soia GM,

chiamata *Roundup Ready*, è "*Una tecnologia che [...] fa aumentare la produzione*" (conclusioni di Kimball Nill, 2005). Su questa specifica affermazione torneremo più avanti. Un ultimo esempio di "informazione" lo riprendiamo dall'ambito scientifico, dove un esperto biotecnologo, il prof. Francesco Sala, in un libretto (Sala, 2005) criticato per le sue posizioni troppo di parte anche dalla rivista *Le Scienze* (Capocci, 2005: "*È lecito rispondere alla propaganda con la propaganda? Questo è forse il principale interrogativo che suscita questo volume*"), scrive che le colture transgeniche possono fornire contributi notevoli per risolvere il problema della fame nel mondo. Il tutto viene supportato dai consueti riferimenti, terroristici ed infondati, all'aumento smisurato della popolazione mondiale e dalle solite citazioni parziali, riprese spesso da fonti interessate a veicolare la diffusione degli OGM, e perciò quanto meno sospette, come l'International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). Naturalmente Sala si "dimentica" di evidenziare che la scienza e la tecnologia oggi disponibili possono fornire anche vie differenti da quella degli OGM per conseguire moltissimi risultati analoghi e si preoccupa soltanto di ridicolizzare l'opzione proposta dall'agricoltura biologica, *costruendosi* dunque un esclusivo avversario di comodo. Così si guarda bene dal citare, ad esempio, il *breeding by design*, che rappresenta appunto un'alternativa alle piante transgeniche e che costituisce una fase estremamente avanzata ed efficace delle tecniche di incrocio e selezione di varietà: una nuova e sofisticata tecnologia in grado di condurre a risultati precisi e rapidi. Come scrivono due esperti del settore, "*Il breeding by design possiede le stesse potenzialità degli OGM per il miglioramento delle colture, ma richiede meno investimenti e inoltre non si pone in contrasto con l'opinione pubblica*" (Peleman & van der Voort, 2003).

### **Gli OGM contro la fame: una visione meno ottimista**

Per meglio valutare quanto è stato detto, ascoltiamo ora il parere di alcuni esperti anche molto favorevoli agli OGM, però equilibrati ed obiettivi, e poi analizziamo il rendimento della coltura transgenica maggiormente diffusa nel mondo e in particolare negli USA: la soia.

Intanto sottolineiamo che l'attuale produzione

mondiale di derrate alimentari non è realmente insufficiente, ma piuttosto assai mal distribuita. Come ha affermato pochi anni or sono anche l'ex Segretario Generale delle Nazioni Unite, Kofi Annan, l'odierna produzione agricola mondiale, se usata in modo razionale, potrebbe nutrire il doppio dell'odierna popolazione del pianeta, cioè dodici miliardi di persone. Forse sarà eccessivamente ottimistica, ma comunque rimane un'opinione da tenere in considerazione. Leggiamo ancora il recente parere di due esperti, Pinstrup-Andersen e Fuzhi Cheng (2007): *“Si potrebbe pensare che alla radice del fenomeno [fame nel mondo – n.d.r.] ci sia un'insufficiente produzione di cibo. Non è così: il mondo è inondato di cibo [...] la produzione alimentare mondiale è sufficiente a coprire il fabbisogno energetico e proteico di tutti gli abitanti del pianeta [...] Il principale motivo per cui fame e carenze alimentari continuano ad affliggere il pianeta è la povertà: milioni di famiglie non possono permettersi di acquistare cibo nutriente o le attrezzature agricole per produrlo”*. Il messaggio è chiaro: c'è cibo sufficiente, ma è mal distribuito. In generale si può asserire che le popolazioni povere non possono accedere per motivi economici, né per acquistarlo, né per produrlo. Rimanendo comunque sul piano, discutibile, delle rese agricole, si evince subito la consapevolezza che il “produrre di più” comporta un intrecciarsi favorevole di numerosi fattori quali il clima, la disponibilità di acqua, la possibilità di poter acquistare sementi adatte e fertilizzanti, la qualità del suolo e la capacità di adottare buone pratiche agricole. Forse si dovrebbe cercare, piuttosto, di “produrre meglio”...

Sostenere che l'ingegneria genetica sarà in grado di fornire entro breve tempo piante capaci di superare tutte le sfide poste dai cambiamenti climatici e dall'intrinseca capacità produttiva delle piante stesse, sembra per lo meno ingenuo, se non mistificatorio. Oltretutto sarebbe solo *una* delle risposte necessarie e comunque raggiungibile anche attraverso altre strade libere dal “cappio al collo” del brevetto che tutela gli organismi transgenici prodotti dalle multinazionali *biotech* e che si traduce in prezzi più elevati per le sementi: profitti a cui i produttori non intendono rinunciare nemmeno nei confronti del Terzo Mondo (Hoag, 2003). È evidente che accettando questa logica il mercato mondiale dei prodotti agricoli diventerebbe di tipo oligopolistico, con evidenti conseguenze negative sulla libertà di molti popoli e sull'autonomia degli stessi contadini. Sovviene a proposito

una laconica e verissima affermazione di Henry Kissinger, risalente agli anni settanta, che dovrebbe farci riflettere: *“Control oil and you control nations; control food and you control the people”*.

Volendo anche ammettere la necessità di un forte incremento produttivo, ricordiamo la giusta puntualizzazione dello svedese Ivan Virgin, ricercatore presso lo Stockholm Environmental Institute, secondo il quale c'è ancora molto spazio per aumentare le rese fino all'80% anche senza ricorrere agli OGM, cioè usando ancora il miglioramento genetico classico, dotato ormai di tecniche assai avanzate (Romeo, 2008). Fra l'altro questo risultato può essere conseguito anche con il contributo di tecnologie sostenitrici delle colture, come ad esempio l'applicazione della semina di precisione. Questa, infatti, grazie all'uso di GPS, permette di ridurre fino al 20% l'impiego di sementi e fertilizzanti, tagliando costi e fabbisogni energetici e rendendo meno pesante l'impatto ambientale. Andrebbe dunque dato il massimo sostegno economico alla ricerca scientifica in questi settori, con una prospettiva strategica libera dagli interessi di *lobbies* e di gruppi industriali.

Sul piano più generale, è necessario riconvertire, almeno in parte, il tipo di agricoltura oggi esistente in molte aree della Terra mettendo al primo posto i bisogni delle popolazioni locali. La complessità dei sistemi agricoli richiede risposte articolate e ben precise priorità di intervento. Leggiamo ora quanto ha dichiarato pochi anni fa Francesco Salamini, ex-direttore all'Istituto Max Planck per le biotecnologie e grande *sponsor* delle piante



Denutrizione infantile in Etiopia.

transgeniche: *“Gli OGM non sono la risposta al problema della fame nel mondo. Dal punto di vista scientifico possono essere una delle tante opzioni, ma la fame dipende da altre condizioni che esulano dalla scienza: guerre, politiche di assistenza allo sviluppo, educazione. Sono queste le cose su cui bisogna intervenire in Africa, prima di pensare a un cibo diverso”* (Salamini, 2003). Ma proseguiamo con un'altra ammissione significativa. Di recente la multinazionale biotech Syngenta ha riconosciuto che gli OGM non risolvono il problema delle fame nel mondo, almeno nell'immediato. A contraddire la propaganda sui molteplici benefici delle piante transgeniche è Martin Taylor, presidente della Syngenta e già membro del Consiglio per la Scienza e la Tecnologia del governo britannico. La notizia è stata diffusa dal quotidiano *The Guardian* del 27 giugno 2008 (cfr.: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/jun/27/gmcrops.food>), che ha riportato le dichiarazioni rilasciate a Londra dal *manager* durante una conferenza sull'agricoltura. Taylor ha ammesso, infatti, che le industrie hanno finora puntato alla commercializzazione di un pacchetto di prodotti *biotech* altamente lucrativo, ma dagli *“scarsi benefici ambientali”*. Inoltre, il presidente della Syngenta ha riconosciuto che le varietà di colture GM esistenti sono state sviluppate in larga parte per il clima ed il tipo di agricoltura propri dell'emisfero settentrionale, mentre sono poco idonee per i Paesi in via di sviluppo; per cui *ci vorranno almeno venti anni prima che le nuove varietà destinate ai Paesi del sud del globo siano sviluppate e testate*.

Ancora dal fronte dei sostenitori del transgenico riportiamo un'altra serie di importanti affermazioni. Due ricercatori, Qaim e Zilberman (2003), pur sostenendo l'utilità degli OGM per aumentare i raccolti di importanti derrate alimentari al fine di risolvere i problemi della fame nei Paesi in via di sviluppo, riconoscono che le colture transgeniche finora diffuse, nonostante le promesse iniziali, non hanno dato alcun contributo in tal senso. *“Recenti studi”*, essi scrivono, *“dimostrano che gli effetti sulle rese di queste tecnologie [...] sono generalmente modesti [...] Per il mais resistente agli insetti negli Stati Uniti e per la soia tollerante l'erbicida negli Stati Uniti e in Argentina gli effetti sulla media delle rese dei raccolti sono trascurabili e, in alcuni casi, anche leggermente negativi”*. Considerata la posizione degli Autori, apertamente in favore degli OGM, queste ammissioni sono

significative. Da una posizione del tutto analoga, così scrivono Fernandez-Cornejo e Caswell (2006, p. 9): *“Le colture geneticamente ingegnerizzate attualmente disponibili non aumentano il potenziale di resa rispetto a quello delle varietà ibride”* convenzionali, aggiungendo che solo in certi casi ci può essere qualche effetto positivo indiretto sulle rese, come per il mais Bt nelle annate in cui ci sono forti infestazioni di Piralide (*Ostrinia nubilalis*).

Secondo due studiosi delle problematiche dei Paesi più poveri del globo, Rosegrant e Cline (2003), per ottenere la sicurezza alimentare (*food security*) di questi Paesi è necessario che venga attuata una serie di riforme su molteplici fronti, investendo sulle risorse umane, sulla ricerca agricola, sulle infrastrutture rurali (strade, ecc.), sulla disponibilità di acqua e su una gestione delle risorse agricole e naturali facente leva su aziende rurali e sulle comunità. Di particolare importanza sono gli investimenti sulla formazione ed istruzione degli agricoltori, finalizzati a permettere una più efficiente e razionale gestione delle pratiche e delle tecnologie colturali in vista di un incremento delle rese dei campi. Decisivo per i suoi effetti sulla crescita della prole è poi da ritenersi l'innalzamento del livello d'istruzione delle donne, stante il loro ruolo centrale di madri. Circa le nuove tecnologie da inserire, gli stessi autori citano solo marginalmente gli OGM, considerandoli come un elemento suscettibile insieme a vari altri di produrre buoni risultati. Per altro, Rosegrant e Cline non trascurano di far notare che gli OGM sinora commercializzati sono limitati a due soli tratti (tolleranza ad un diserbante e resistenza ad insetti), di interesse per gli agricoltori dei Paesi industrializzati, ma poco utili per le popolazioni afflitte dalla piaga della fame. Questa situazione deriva dal fatto che *“il settore privato non investirà mai sufficientemente per realizzare le necessarie modifiche adatte per queste regioni [essenzialmente l'Africa e l'Asia – n.d.r.] che hanno una potenzialità di mercato limitata”*, e quindi poco appetibile per le multinazionali. Di fronte a tale panorama poco rassicurante, gli stessi autori evidenziano l'eccezionale importanza di una ricerca auto-centrata e libera dagli interessi del grande *business*, come quella che ha condotto alla produzione, ad opera degli scienziati della West Africa Rice Development Association (WARDA), di un nuovo tipo di riso più produttivo e resistente chiamato *NERICA*. Su questo prodotto delle biotecnologie non trans-

geniche è opportuno soffermarsi riportando alcuni dati ripresi dalla letteratura scientifica. Non si tratta di un OGM, in quanto non è stato ottenuto per trasferimento di singoli geni da due o più specie lontane fra loro dal punto di vista della sistematica biologica, bensì fondendo semplicemente il riso originario africano, *Oryza glaberrima*, molto resistente e ben adattato – dopo oltre tremila anni di colture – all’ambiente sub-sahariano, e quello importato circa cinquecento anni fa dall’Asia, *Oryza sativa*, molto più debole ma assai più produttivo del primo. Il risultato è stato eccellente in quanto Nerica: (a) produce il 50% in più senza fertilizzanti ed oltre il 200% con fertilizzanti, (b) raggiunge la maturità dai 30 ai 50 giorni prima, (c) resiste agli stress presenti nell’area sub-sahariana e, infine (d), ha un più alto contenuto di proteine (2%) (Dingkuhn *et al.*, 1998; cfr. anche il sito dell’Africa Rice Center: [www.warda.org](http://www.warda.org)). Come conclusione lo scrivente vorrebbe ricordare quanto già osservava anni addietro: “*Da più parti si sostiene che gli OGM possano contribuire a risolvere il problema della fame nel mondo. Si ritiene infatti che non ci sia sufficiente cibo per alimentare la popolazione mondiale in costante crescita. In realtà, invece, il flagello della fame deriva dalla povertà esistente nei paesi del Terzo Mondo, in cui esistono, e sono in costante crescita, gravi situazioni di degrado a vari livelli*” (Monastra & Rossi, 2003).

### **La soia GM produce di più?**

A questo punto è interessante riportare alcuni dati concreti circa l’effettiva produttività della soia GM *Roundup Ready* (RR), che per la sua grande diffusione (soprattutto negli USA) ci fornisce il classico esempio paradigmatico per misurare, ancora una volta, il valore “scientifico” delle affermazioni propagandistiche a sostegno degli attuali OGM. Vediamo i dati della ricerca e quelli derivanti dall’esperienza di oltre dieci anni di colture commerciali di soia. Riportiamo i risultati delle sperimentazioni condotte negli anni 1998-1999 dal gruppo di Elmore (Elmore *et al.*, 2001a), il quale ha valutato la resa produttiva della soia GM, tollerante l’erbicida glifosato, rispetto sia a quella delle linee cosiddette “sorelle” – cioè geneticamente affini – non ingegnerizzate, sia a quella di ibridi di soia non GM ad alto rendimento. I ricercatori hanno distinto lo *yeld drag*, che è la riduzione di resa dovuta all’inserzio-

ne di geni esogeni, e lo *yeld lag*, che è la riduzione di resa dovuta al tipo di soia in cui è stato inserito il transgene. I risultati sono stati i seguenti:

la soia GM ha mostrato rendimenti minori del 5%, pari a 200 kg/ha, rispetto alle linee sorelle;

la soia GM ha prodotto granella mediamente più leggera di quella delle linee sorelle;

la soia non GM ad alto rendimento ha mostrato una resa del 10% più alta rispetto alle varietà GM, e del 5% più alta rispetto alle varietà “sorelle”.

Se ne deve concludere che la resa produttiva della soia GM è minore. In un altro lavoro, il medesimo gruppo di ricerca (Elmore *et al.*, 2001b) ha dimostrato che la diminuzione di resa non è legata all’uso dell’erbicida glifosato; si ritiene piuttosto che essa sia dovuta per un 5% all’inserzione nella soia di geni esogeni (effetto *yeld drag*) e per un altro 5% dall’utilizzo di varietà di soia che pur non essendo altamente produttive, sono però le uniche che si prestano ad essere ingegnerizzate con successo (effetto *yeld lag*). A questi dati andrebbero altresì aggiunte evidenze sperimentali che ridimensionano il valore effettivo della soia *Roundup Ready* anche sotto altri aspetti, quali ad esempio l’inibizione, dovuta al processo di ingegnerizzazione, dell’assorbimento di importanti nutrienti dal terreno (King *et al.*, 2001; Motavalli *et al.*, 2004; Bernards *et al.*, 2005; Ma & Subedi, 2005; Neumann *et al.*, 2006; Gordon, 2007). Né andrebbero dimenticate le risultanze sperimentali che hanno messo in luce la pericolosità per la salute umana del glifosato, l’erbicida verso il quale la soia *Roundup Ready* è tollerante e che viene usato dagli agricoltori in quantità sempre maggiori (*Roundup* è appunto il nome commerciale dell’erbicida a base di glifosato prodotto dalla Monsanto). È stato dimostrato che i residui di questo prodotto possono contaminare i fiumi ed entrare anche nella catena alimentare. Alcune donne impiegate nel settore agricolo che utilizzavano questo prodotto hanno presentato problemi di maternità. Uno studio del gruppo di Seralini (Richard *et al.*, 2005) dimostra che il glifosato, entro 18 ore dall’esposizione anche a concentrazioni inferiori a quelle usate in agricoltura, è tossico per le cellule placentali umane JEG3. L’effetto aumenta con la concentrazione e con il tempo di esposizione anche in presenza dei coadiuvanti (ogni erbicida è composto dal principio attivo, il glifosato per esempio, e da coadiuvanti che ne facilitano l’utilizzo): anzi, l’erbicida è più tossico del principio attivo preso da solo, in quanto i coadiuvanti esplicano un effetto sinergico con il

| Specie agricola   | Area in milioni di ettari | Proporzione sul totale della coltura (GM + convenzionale) |
|-------------------|---------------------------|---|
| Soia GM           | 23,6                      | 91%   |
| Mais GM           | 27,4                      | 73%   |
| Cotone GM         | 3,9                       | 87%   |
| Totale colture GM | 54,9                      |   |

Tab. 3 - Quadro d'insieme delle principali colture commerciali GM negli USA (anno 2007).

glifosato. Nel medesimo studio si testa l'effetto del glifosato e del *Roundup* a dosi leggere e concentrazioni non tossiche sull'aromatasi, l'enzima responsabile della sintesi dell'estrogeno, un ormone sessuale. Interagendo con il sito attivo dell'enzima, l'erbicida ne disturba l'attività, e ciò in maniera particolarmente intensa quando si concentra nel citoplasma cellulare in piccolissime vesciche (microsomi). La sperimentazione ha quindi permesso di dimostrare, a differenza di quanto sostenuto da molti, che l'effetto tossico del *Roundup* e del glifosato può essere osservato nei mammiferi e che la presenza dei coadiuvanti del *Roundup* aumenta la biodisponibilità ed il bioaccumulo dell'erbicida. Accanto a questi dati suscitano preoccupazione anche altre recenti informazioni. Secondo quanto riportato dall'USDA (vedi: [www.usda.gov/wps/portal/usdahome](http://www.usda.gov/wps/portal/usdahome)), dal 1994 al 2005 l'uso del *Roundup* ha avuto negli USA un incremento di 15 volte a causa della progressiva diffusione delle colture di soia GM. Nel solo anno 2006 l'uso del glifosato sulla soia *Roundup Ready* è aumentato del 28% rispetto al 2005, con un consumo totale di 44.000 tonnellate. Il glifosato rimane così responsabile non soltanto dei problemi di salute già messi in evidenza, ma anche di squilibri ambientali, in quanto, pur essendo un diserbante meno dannoso di altri, ha però raggiunto dosi talmente alte da provocare – fra l'altro – l'insorgenza di erbe infestanti ad esso resistenti, la cui area copre già un milione di ettari circa sull'intero pianeta. Con ogni probabilità, il problema della comparsa di piante resistenti è stato gravemente accresciuto dall'uso di un solo tipo di erbicida, appunto il glifosato, mentre le buone pratiche agricole consigliano di usare sempre a rotazione prodotti con principi attivi differenti. D'altra parte, l'aumento esponenziale del glifosato non ha ridotto l'impiego di altri ancor più pericolosi diserbanti come il 2,4D, cioè l'acido 2,4-

diclorofenossiacetico, un componente del famigerato “agente arancio” usato dagli USA in Vietnam che è stato classificato dall'International Agency for Research on Cancer (IARC) come possibile cancerogeno per l'uomo. Fra il 2002 e il 2006 l'impiego del 2,4D nelle colture di soia è più che raddoppiato, con ovvii aumenti dei costi per gli agricoltori, appunto allo scopo di debellare le piante infestanti ormai non più sensibili al glifosato. E un discorso

analogo potrebbe essere fatto anche per l'incremento dell'atrazina, oggi al bando nell'UE, ma ancora “tranquillamente” usata negli Stati Uniti.

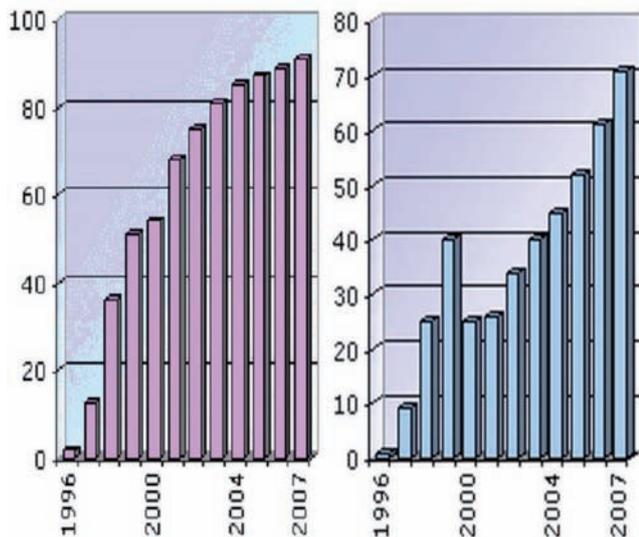
Analizziamo adesso i dati forniti dal Dipartimento dell'Agricoltura statunitense (USDA) relativi alla diffusione della soia GM negli USA ed alla sua produttività a livello commerciale. Vediamo, in primo luogo (Tab. 3), un quadro d'insieme delle principali colture commerciali GM negli USA (anno 2007):

Dal 1996 (primo anno di coltivazioni transgeniche commerciali) al 2007 l'incremento percentuale annuo della soia transgenica (RR) sul totale delle coltivazioni di soia è stato il seguente (dati numerici in tabella 4 e relativo istogramma della diffusione rapportata con quella del mais Bt):

Anche in considerazione di questi dati, abbiamo diviso in quinquenni l'intero periodo per il quale sono disponibili dati sulla coltivazione di soia negli USA, cioè dagli Anni Sessanta a oggi, calcolando per ogni periodo la produttività media e la differenza percentuale dal periodo precedente (Tab. 5).

La suddivisione in quinquenni permette di appianare le differenze dovute ad annate più o meno produttive (causa siccità o attacco di parassiti) e di fornire un quadro più chiaro della situazione. Il *trend* è molto evidente ed altrettanto lo sono le conclusioni. Da quando la soia GM è stata coltivata in quantità rilevanti, cioè con una percentuale pari o superiore all'80% sul totale delle coltivazioni di soia (quinquennio 2003-2007), la produttività media è risultata solo del 6,7 % più elevata rispetto al quinquennio precedente (1998-2002). Questo aumento è attribuibile in minima parte alla presenza della soia transgenica, il cui contributo è quindi trascurabile, visto che nel quinquennio 1993-1997 – quando gli OGM non erano ancora presenti o stavano appena iniziando a diffondersi (nel biennio 1996-1997 la media

| ANNO | SOIA GM<br>SUL TOTALE | ANNO | SOIA GM<br>SUL TOTALE |
|------|-----------------------|------|-----------------------|
| 1996 | 2%                    | 2002 | 75%                   |
| 1997 | 12%                   | 2003 | 81%                   |
| 1998 | 38%                   | 2004 | 85%                   |
| 1999 | 51%                   | 2005 | 87%                   |
| 2000 | 54%                   | 2006 | 89%                   |
| 2001 | 68%                   | 2007 | 91%                   |



Tab. 4 - Incremento percentuale delle colture di soia GM (a sinistra) e di quelle di mais GM (a destra) negli USA rispetto al totale (GM + convenzionale). Gli istogrammi sono basati sulle statistiche ufficiali del Dipartimento dell'Agricoltura degli USA (USDA).

della soia transgenica coltivata non superava il 10% del totale, per cui i raccolti erano quasi esclusivamente ottenuti con la soia convenzionale –, la produttività era aumentata addirittura del 12,4 % rispetto al quinquennio precedente. Ottime *performances* si trovano anche andando più indietro nel tempo. Dai dati sembra quindi emergere che prima dell'introduzione su larga scala di soia GM si fosse già arrivati ad un grado di perfezione tecnico-agronomica (probabilmente con ibridi altamente produttivi trattati con le più innovative tecniche colturali come irrigazione, antiparassitari, concimi ecc.) difficilmente migliorabile in modo significativo tramite la via della transgenesi finora adottata. Piuttosto, considerando il *trend* precedente nonché i dati sperimentali già citati, l'accrescimento del 6,7% sembra essere imputabile soprattutto a tali procedure "classiche" divenute sempre più raffinate. Fra l'altro, il periodo 1998-2002, che negli USA ha visto un progressivo incremento delle colture di soia GM da circa

il 35% a circa il 75% sul totale, registra un misero aumento di appena il 2,9% sul quinquennio precedente, cioè uno dei valori più bassi nella storia della soia americana. È un dato significativo che dovrebbe far riflettere i fautori dell'utilità degli attuali OGM ai fini degli incrementi di resa (si ricordano le affermazioni del tutto irrealistiche sopra citate, a cui se ne potrebbero aggiungere molte altre).

Abbiamo anche calcolato la media della superficie coltivata nei due decenni (1998-2007 e 1988-1997) trovando che nel periodo in cui gli OGM sono stati introdotti e poi si sono ampiamente diffusi tra gli agricoltori americani (1998-2007) la superficie coltivata a soia è aumentata di ben 5 milioni di ettari, cioè del 21%. Infatti nel 1988-1997 la media è stata di 24 milioni di ettari, mentre nel 1998-2007 ha raggiunto i 29 milioni di ettari. Questo dato ridimensiona ancor più il già modestissimo incremento di produttività media osservato dopo l'introduzione della soia *Roundup Ready*, portando a ribadire che quest'ultima è praticamente ininfluenza, se non addirittura negativa, sul parametro "rese". È infatti risaputo che quando aumentano le superfici coltivate risulta più facile accrescere la produttività agricola, per via della maggiore efficienza dei fattori produttivi (trattori e mezzi agricoli meccanizzati in genere, distribuzione dei vari prodotti agrochimici, ecc.) e delle minori perdite di prodotto (dovute al trasporto verso i punti di stoccaggio, alla bassa produttività unitaria nei bordi degli appezzamenti, ecc.).

| PERIODI<br>QUINQUENNALI | PROD. MEDIA<br>tonnellata/ettaro | DIFF. % |
|-------------------------|----------------------------------|---------|
| 1963-1967               | 1.60                             |         |
| 1968-1972               | 1.79                             | +11,9%  |
| 1973-1977               | 1.81                             | +1,1%   |
| 1978-1982               | 1.97                             | +8,8%   |
| 1983-1987               | 2.04                             | +3,6%   |
| 1988-1992               | 2.18                             | +6,9%   |
| 1993-1997               | 2.45                             | +12,4%  |
| 1998-2002               | 2.52                             | +2,9%   |
| 2003-2007               | 2.65                             | +6,7%   |

Tab. 5 - Produttività media quinquennale (tonnellata/ettaro) della coltivazione di soia negli USA dagli anni '60 ad oggi e differenza percentuale dal periodo precedente.

Dai dati dell'USDA relativi al compenso ricevuto dagli agricoltori per ogni tonnellata di soia venduta nel periodo 1960-2007, appare chiaramente che nell'era OGM tale compenso è diminuito. Dal 1978 al 1997, cioè per quasi 20 anni, il prezzo della soia è rimasto pressoché costante, andando poi a ridursi gradualmente con l'incrementarsi della diffusione di quella GM. In particolare, ogni tonnellata di soia era pagata \$ 229 nel 1988-1997 e \$ 218 nel 1998-2007, con una diminuzione di quasi il 5% (Tab. 6).

| PERIODO<br>(decenni) | PREZZO MEDIO<br>\$/ton di soia | DIFF. % |
|----------------------|--------------------------------|---------|
| 1968-1977            | 165                            |         |
| 1978-1987            | 227                            | 37.58%  |
| 1988-1997            | 229                            | 0.88%   |
| 1998-2007            | 218                            | -4.80%  |

Tab. 6 - Dati USDA relativi al compenso ricevuto dagli agricoltori per ogni tonnellata di soia venduta nel periodo 1960-2007.

## Conclusioni

Si può quindi affermare che la tipologia degli OGM oggi sul mercato, se può offrire qualche vantaggio nel semplificare la gestione delle colture in alcune aree delle nazioni più ricche, non risolve nemmeno in parte i problemi degli agricoltori e delle popolazioni del Terzo Mondo. Ricordiamo che dal 1996 sono iniziate le piantagioni commerciali di soia, mais, colza e cotone, mentre negli ultimi due anni hanno cominciato a diffondersi quelle di zucca, papaya, erba medica, pomodoro, pioppo, peperone, barbabietola da zucchero, petunia, garofano. Come si vede le nuove piante transgeniche, appena introdotte, sono ancor meno utili delle precedenti ad alleviare il problema della fame nel mondo. In particolare, abbiamo visto che il contributo positivo della soia ingegnerizzata è inesistente. Un minimo aiuto può forse derivare dal mais GM, anche se la produttività delle sue varietà non è superiore a quella della pianta convenzionale, *purché quest'ultima sia coltivata seguendo le buone pratiche agricole e sia trattata con antiparassitari contro l'infestazione da Piralide* (infestazione che, per altro, provoca danni elevati solo in certe annate ed in certe particolari aree geografiche). Molti obiettivi legati all'aumento di produttività, intesa nel senso più ampio del termine, sono semplici spe-

ranze che soltanto il futuro potrà dirci quanto siano realizzabili con gli OGM. La ricerca è ancora lontana dal poter fornire al mercato soddisfacenti piante ingegnerizzate, capaci di aumentare la resa o di crescere in ambienti ostili (aridi, salini, ecc.). Si tratta di modificare in modo assai rilevante il complesso metabolismo degli organismi senza produrre effetti collaterali negativi, e ciò non è facile.

Come abbiamo visto in precedenza, la crisi alimentare mondiale è assai complessa e deriva da varie cause – strutturali e congiunturali – fra loro intrecciate; pertanto anche la risposta deve essere complessa ed articolata, ben ancorata alla realtà ed immune sia da inganni miracolistici che da tentazioni di scorciatoie riduzioniste e banalmente semplificatrici.

Una volta preso atto, come elemento di cornice molto positivo, del cambiamento di mentalità verificatosi negli ultimi tempi – cioè *il fatto che l'agricoltura torni ad essere un fattore centrale, essenziale, dopo il periodo caratterizzato, in occidente, dalla sua sottovalutazione* – per fronteggiare i problemi dovuti alla forte carenza alimentare correlata all'aumento dei prezzi può essere proposta tutta una serie di interventi, da attuarsi però nell'ambito di una visione coerente e non frammentaria.

*In primo luogo* occorre abolire l'uso di derrate alimentari per la produzione di biodiesel, destinando a quest'ultimo soltanto gli scarti delle colture. I prodotti agricoli devono fornire cibo per l'uomo, non "alimenti" per le macchine.

*In secondo luogo*, per evitare il costante aumento del bestiame da macello col conseguente uso delle derrate come mangimi, è opportuno che nella dieta dei Paesi industrializzati, soprattutto di quelli tecnologicamente più avanzati, sia ridotto drasticamente il consumo della carne.

*In terzo luogo* deve essere sviluppata la ricerca agricola sui sistemi di gestione integrata delle colture, basandola sul risparmio energetico e sulla riduzione dell'uso di prodotti agrochimici e di acqua.

*In quarto luogo*, gli esperti devono impegnarsi ad informare sulle reali opportunità offerte dalle colture transgeniche senza illudere con un cinico *marketing* pseudo-umanitario, strumentalizzatore della fame e della povertà dei popoli dei Paesi in via di sviluppo per una mera sponsorizzazione degli OGM a soli fini di profitto economico.

Infine, *last but not least*, non va trascurata l'importantissima *lotta ai fenomeni speculativi* che stanno alienando le fonti primarie di sostentamento per l'uomo.

Più in generale, nei Paesi in via di sviluppo occorre aiutare la crescita di economie agricole auto-centrate – cioè focalizzate prioritariamente sui bisogni e le necessità locali – investendo in progetti che consentano l'accesso a fonti idriche ed energetiche, introducendo attrezzature e tecnologie non troppo sofisticate e favorendo la ricerca autoctona tipo quella per il riso *Nerica*. In prospettiva, l'obiettivo è quello di una almeno parziale autosufficienza alimentare, tale cioè da rendere indipendenti da eventuali sovrapproduzioni di Paesi industrializzati tipo gli USA.

Inoltre non dobbiamo dimenticare che in certe aree del nostro pianeta è necessario avviare e sostenere un processo di accesso alla proprietà della terra coltivabile per molte famiglie che non dispongono nemmeno di questo elemento di base. Seppure in termini e modalità differenti, a seconda degli ambienti dove si vuole operare, è necessario iniziare una battaglia contro la de-ruralizzazione planetaria. *L'agricoltura non è una realtà soltanto economica e pertanto non può ridursi a mera appendice dell'industria perdendo le sue specificità e la sua ricchezza. In questa strategia d'insieme va inserita una strenua difesa sia dell'agro-biodiversità, sempre più a rischio, sia del "diritto di proprietà" delle culture indigene nei confronti delle loro piante.* Talora, infatti, mediante la pratica del "brevetto", alcune multinazionali sottraggono – ma forse sarebbe meglio dire: "rapinano" – i risultati di lunghissimi processi di selezione, frutto secolare del lavoro dei coltivatori nativi.

In conclusione: *dobbiamo tutti metterci in guardia e riflettere seriamente su come programmare ed affrontare il futuro.* La sicurezza alimentare sembrava un traguardo consolidato nel mondo occidentale (salvo limitate sacche di povertà da eliminare) ed un risultato da conseguire in tempi abbastanza "breve" per le altre aree del pianeta; ma purtroppo non è così. Il mercato anarchico, senza regole né controlli, si è dimostrato ancora una volta un nemico dei popoli, di tutti i popoli, e sta capovolgendo importanti fenomeni positivi. L'economia non è tutto e non può arrogarsi il diritto di dominare gli Stati. La politica deve tornare ad essere prioritaria ed porsi al di sopra della sfera economica, la cui autonomia va riconosciuta come semplice fatto funzionale nel suo ambito specifico, e non come valore quasi "sacrale". *L'economia non può e non deve essere il nostro*

*destino.* Il cibo e l'acqua non sono merci, ma realtà vitali da sottrarre ai capricci ed alle ingiustizie del mercato. Dobbiamo tornare ad instaurare una politica che sia capace di elaborare progetti ambiziosi e di incidere concretamente sui destini dei popoli per migliorarne la qualità di vita, una politica che abbia la forza e la volontà di sfidare, se necessario, le grandi concentrazioni finanziarie e gli interessi economici delle oligarchie, che oggi sono egemonici e che spesso si nascondono dietro le seduzioni falsamente neutrali ed obiettive dell'opzione tecnocratica.

Ringrazio il dott. Michelangelo Lombardo per la sua collaborazione nel reperimento e analisi dei dati sulla produttività della soia e sul relativo compenso ricevuto dagli agricoltori.

### Testi citati

Bernards, M.L., Thelen K.D., Penner D., Muthukumaran R.B. & McCracken J.L. (2005) – *Glyphosate interaction with manganese in tank mixtures and its effect on glyphosate absorption and translocation*, Weed Science, 53: pp.787-794.

Bizzarri M. (2008) – *Quel gene di troppo. L'incognita OGM e il rischio sostenibile*. Editori Riuniti, Roma.

von Braun J. (2008) – *The food crisis isn't over*. Nature, 456: p.710.

Capocci M. (2005) – Recensione al libro di F. Sala. Le Scienze, 439: p. 116.

Cascioli R. & Gaspari A. (2004) – *Le bugie degli ambientalisti*, Piemme, Casale Monferrato.

De Filippis F. (ed) (2008) – *Prezzi agricoli ed emergenza alimentare*. Edizioni Tellus, Roma.

Dingkuhn M., Jones M.P., Johnson D.E. & Sow A. (1998) – *Growth and yield potential of Oryza sativa and O.glaberrima upland rice cultivars and their interspecific progenies*. Field Crops Research, 57: pp. 57-69.

Elmore R.W., Roeth F.W., Klein R.N., Knezevic S.Z., Martin A., Nelson L.A. & Shapiro C.A. (2001a) - *Glyphosate-resistant soybean cultivar response to glyphosate*. Agron. J., 93: pp. 404-407.

Elmore R.W., Roeth F.W., Nelson L.A., Shapiro C.A., Klein R.N., Knezevic S.Z. & Martin A. (2001b) – *Glyphosate-resistant soybean Cultivar Yields compared with sister lines*. Journal of Agronomy, 93: pp. 408-412.

Emmott B. (2008) – *Il prezzo degli alimenti?*

- Dipende dalla scienza*. Corriere della Sera, 9 marzo, p.30.
- Fargione J., Hill J., Tilman D., Polaskyn S. & Hawthorne P. (2008) – *Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt*. Science 319: p. 1235 – 1238.
- Fernandez-Cornejo J. & Caswell M. (2006) – *The First Decade of Genetically Engineered Crops in the United States*, Usda, Economic Information Bulletin Number 11, April, p. 9: <http://www.ers.usda.gov/publications/eib11/eib11.pdf> ,
- Gordon B. (2007) – *Manganese nutrition of glyphosate-resistant and conventional soybeans*. Better Crops with Plant Food magazine, 91: pp. 12-13.
- Hoag H. (2003) – *Biotech Firms Join Charities in Drive to Help Africa's Farms*. Nature, 422: p. 246.
- King A.C., Purcell L.C. & Vories E.D. (2001) – *Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications*. Agronomy Journal, 93: pp. 179-186.
- Kishore G.M. & Shewmaker C. (1999) – *Biotechnology: Enhancing Human Nutrition in Developing and Developed Worlds*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96: pp. 5968-5972.
- Lutz W., Sanderson W. & Scherbov S. (2001) – *The End of World Population Growth*. Nature, 412: pp. 543-545.
- Ma B.L. & Subedi K.D. (2005) - *Development, yield, grain moisture and nitrogen uptake of Bt corn hybrids and their conventional near-isolines*. Field Crops Research 93: pp. 199-211.
- Malagoli C. (2006) – *Etica dell'alimentazione. Prodotti tipici e biologici, OGM e nutraceutici, commercio equo e solidale*. Aracne Editrice, Roma.
- Monastra G. (2002) – *“Maschera e volto” degli OGM. Fatti e misfatti degli organismi geneticamente modificati*. Edizioni Settimo Sigillo, Roma.
- Monastra G. (2004) – *Organismi geneticamente modificati (OGM): analisi di un progetto faustiano*. Etrurianatura, 1, 8-21.
- Monastra G. (ed) (2006) – *Agrobiotecnologie nel contesto italiano*. Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione, Roma.
- Monastra, G. & Rossi L. (2003) – *Transgenic Foods as a Tool for Malnutrition Elimination and Their Impact on Agricultural Systems*. Biology Forum, 96: pp. 363-384.
- Motavalli P.P., Kremer R.J., Fang M. & Means N.E. (2004) – *Impact of genetically modified crops and their management on soil microbially mediated plant nutrient transformations*. J. Environ. Qual., 33: pp. 816-824.
- Neumann G., Kohls S., Landsberg E., Stock-Oliveira Souza K., Yamada T. & Romheld V. (2006) – *Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere*. Journal of Plant Diseases and Protection, 20: pp. 963-969.
- Nielsen K.M. (2003) – *Transgenic organisms – time for conceptual diversification?* Nature Biotechnol., 21: pp. 227-228.
- Nill K. (2005) – *La produzione di soia negli USA è sempre più sostenibile*. ASA International Marketing, <http://www.asaim-europe.org/pdf/sustainable%20IT.pdf>
- Peleman, J.D. & J.R. van der Voort (2003) – *Breeding by Design*. Trends in Plant Science, 8: pp. 330-334.
- Pinstrup-Andersen P. & Cheng F. (2007) – *Dove vince la fame*. Le Scienze, 471: p. 66.
- Population Division of U.N. 2002-2003: <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>
- Qaim M. & Zilberman D. (2003) – *Yield Effects of Genetically Modified Crops in Developing Countries*, Science, 299: pp. 900-902.
- Richard S., Moslemi S., Sipahutar H., Benachour N. & Seralini G.-E. (2005) – *Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase*. Environmental Health Perspectives, 113: pp. 716-720.
- Righelato R. & Spracklen D.V. (2007) - *Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests?* Science, 317: p. 902.
- Romeo G. (2008) – *Provare per chiedere: la crisi alimentare nel mondo. Intervista a Ivan Virgin*. Sole 24 Ore Nòva, 3 luglio, p. 4.
- Rosegrant M.W. & Cline S.A. (2003) – *Global Food Security: Challenger and Policies*. Science, 302: pp. 1917-1919.
- Sala F. (2005) – *Gli OGM sono davvero pericolosi?* Laterza, Roma/Bari.
- Salamini F. (2003) – *La chiesa apre agli OGM*. Famiglia Cristiana, 23 novembre.
- Scharlemann J.P.W. & Laurance W.F. (2008) – *How Green Are Biofuels?*, Science, 319: pp. 43-44
- The World Bank Group (2008) – *Millennium Development Goals: About the Goals*. In: [www.developmentgoals.org/About\\_the\\_goals.htm](http://www.developmentgoals.org/About_the_goals.htm)



*Salamandrina perspicillata* (Savi, 1821)  
Foto "Il Graffio", Follonica

# I geositi come beni naturali non rinnovabili da identificare, censire, conservare e far conoscere

Roberto Fondi, Roberto Mazzei, Niccolò Baldassini

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena  
fondi@unisi.it, mazzeir@unisi.it, n.baldassini@unisi.it

*La componente geologica di ogni paesaggio rappresenta il grande libro della Natura, nelle cui pagine – fatte di rocce e di pacchi di strati – sono registrati gli eventi anche più remoti della storia del nostro pianeta. Nessun Paese, quindi, può eludere il compito di identificare, censire, conservare e far conoscere queste pagine.*

*“Nessuna cosa si può amare né odiare  
se prima non si ha cognizione di quella”*  
Leonardo da Vinci

*“Il vero viaggio di scoperta non consiste nel  
cercare nuovi paesaggi, ma nell’aver nuovi occhi”*  
Marcel Proust

È ormai un positivo dato di fatto che l’opinione pubblica del nostro Paese, sensibilizzata anche da opportune e lodevoli iniziative legislative, manifesta sempre più attenzione ed interesse nei confronti del paesaggio e dei beni naturali che ne formano parte, sollecitandone la protezione, l’eventuale recupero e la valorizzazione. Tra le componenti del paesaggio, fino ad oggi sono state soprattutto quelle geomorfologiche a costituire oggetto di particolare richiamo, e ciò essenzialmente a motivo della loro spettacolarità (basti pensare, ad esempio, al caratteristico paesaggio delle “biancane” nel territorio senese). Affinché un bene naturale non sia recepito come dato esclusivamente estetico, occorre tuttavia “penetrarvi più a fondo” per identificarne il *significato scientifico* e il *valore culturale*.

Per dirla in altri termini: Gea o Gaia, cioè la nostra madre Terra, è generosa nell’offrire ai nostri occhi “finestre” straordinariamente rivelatrici del corso della sua storia, sebbene queste non necessariamente colpiscano l’attenzione per singolarità o spettacolarità; per cui dipende esclusivamente dagli occhi di chi osserva, se quanto viene mostrato da tali aperture è destinato a rimanere un fatto puramente estetico e superficiale, oppure viene

interpretato nei suoi significati più profondi. Il concetto di geo-conservazione deve perciò riferirsi in primo luogo all’esigenza di salvaguardare *siti geologici speciali* tramite i quali è possibile “leggere” con chiarezza l’evoluzione del nostro pianeta e della sua biosfera.

Questi siti speciali, presenti in ogni regione in diversa quantità e qualità, sono attualmente indicati con il termine di *geositi* dagli autori scandinavi e di lingua inglese e con quello di *geotopi* dagli autori di lingua tedesca. Per la precisione, il termine “geotopo” sta a rappresentare una parte della geosfera spazialmente limitata e chiaramente distinguibile dalle circostanti in relazione a caratteri e processi geologici e morfologici definiti.

Presi nel loro insieme, i geositi-geotopi rappresentano un ricchissimo archivio di informazioni estremamente significative dal punto di vista non soltanto della Geologia classica, ma anche di discipline come la Mineralogia, la Petrografia, la Paleontologia e la Geomorfologia. D’altra parte, in quanto beni naturali non rinnovabili, essi costituiscono un patrimonio inestimabile che richiede di essere censito, tutelato e valorizzato.

Una definizione ampiamente utilizzata di geosito è quella fornita da Wimbledon *et al.* (1995), che lo interpretano come una località, area o territorio in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione. Va comunque precisato che gli stessi autori ritengono opportuno estendere tale concetto anche a siti aventi caratteristiche per così dire più “familiari”, riguardanti cioè le origini, le vicende ed i paesaggi legati alla vita dell’Uomo.

Poiché i geositi rimangono per la maggior parte sconosciuti al vasto pubblico, essi rappresentano una notevole fonte potenziale per un nuovo tipo di attrazione culturale che non esclude risvolti di natura turistica. A controbilanciare in qualche modo l'immagine di una Geologia come disciplina piuttosto chiusa in se stessa e legata essenzialmente a temi "severi" e poco stimolanti, quali la pericolosità e il rischio connessi ad eruzioni, alluvioni e frane, potrebbe infatti essere delineato e sviluppato un concetto di *geodiversità* che veda nella pluralità e specificità degli ambienti geologici (intesi nel loro senso più ampio: cioè includenti le rispettive comunità fossili) la base necessaria per la *biodiversità* o varietà della vita sulla Terra nelle differenti tappe della sua storia.

Costituitasi nel 1988, la prima associazione europea per la promozione della geo-conservazione, l'European Working Group for Earth Science Conservation, si è convertita cinque anni dopo nell'European Association for the Conservation of the Geological Heritage (ProGEO), la quale nel 1995 ha dato inizio alla compilazione di una lista di geositi europei. Nel medesimo anno l'International Union of Geological Sciences (IUGS) ha proposto il progetto "Geosites", patrocinato dall'UNESCO, con il duplice obiettivo di fornire un supporto scientifico alle iniziative di geo-conservazione e di sollecitare una politica protezionistica su scala sia nazionale che internazionale. È così partito un inventario informatizzato dei siti geologici più significativi, strutturato in maniera sistematica e continuamente aggiornato. Il problema maggiore posto dal progetto è consistito nell'individuare le metodologie migliori per la *valutazione*, la *selezione* e la *conservazione* dei siti nei diversi Paesi, anche per favorire interazioni e collaborazioni con altre discipline e settori di interesse.

Passando attraverso l'organizzazione di conferenze internazionali sull'argomento e a seguito del 2° Simposio Internazionale sulla Protezione del Patrimonio geologico (Roma, 1996), si è così costituito anche il gruppo ProGEO Italia, che include docenti e ricercatori delle Università, dell'ENEA, del Servizio Geologico Nazionale e del CNR, ed il cui compito principale è appunto quello di promuovere la conoscenza del nostro patrimonio geologico e la sua conservazione. Sebbene già nel 1939 la legge n° 1497 – "Protezione delle bellezze naturali" indicasse come soggette a tutela le "singolarità" geologiche, in Italia le prime consistenti manifestazioni di cultura protezionistica

nei riguardi dei beni geologici – se si eccettua il lavoro svolto da alcuni precursori (Nangeroni, 1968; Praturlon, 1986; Panizza, 1988; Panizza & Piacente, 1989) – risalgono dunque a non prima degli anni Novanta del secolo scorso. Con l'entrata in vigore della Legge Quadro delle Aree Protette (394/91) sono stati forniti nuovi stimoli per una migliore definizione in termini scientifici delle caratteristiche dei beni da proteggere. È appunto in questo contesto che si è inserito, ad esempio, a partire dal 2002, il progetto "Geositi nel paesaggio italiano: ricerca, valutazione e valorizzazione", co-finanziato dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR). Nell'ambito di questo progetto – che ha visto coinvolte le sedi universitarie di Cagliari, Genova, Modena-Reggio Emilia, Pavia ed Urbino, nonché enti pubblici extra-universitari (Servizio Geologico Nazionale, Enea, Regioni e Province) – sono state studiate comparativamente alcune aree italiane al fine di identificare beni geologici di natura specificamente geomorfologica, o geomorfositi (Massoli-Novelli, 2001a, 2001b; Panizza & Piacente, 2002, 2003; Piacente & Coratza, 2003; Piacente & Poli, 2003).

Per quanto concerne più particolarmente i beni di natura paleontologica, ricordiamo che nella circolare n° 63/STRAP emessa il 15.02.1999 dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali è definito *Cosa di interesse paleontologico* o *Bene paleontologico* "ogni fossile o insieme di fossili che costituiscono elemento di importante interesse per la conoscenza della storia della vita e dei paleoambienti"; è altresì definito *Sito paleontologico* "ogni area il cui contenuto paleontologico costituisca importante testimonianza di particolari episodi dell'evoluzione della vita e dei paleoambienti". Così inteso, quindi, il concetto di sito paleontologico viene ad identificarsi a pieno titolo con quello di geosito.

### **Un geosito importante del territorio senese...**

In Toscana vi sono numerosi siti geologici, il valore scientifico dei quali è testimoniato dal continuo flusso di pubblicazioni ad opera di ricercatori dei tre Atenei regionali. Per quanto riguarda la Provincia di Siena, uno fra i più importanti di essi è ubicato in una cava per laterizi nei pressi di Borro Strolla ad est di Poggibonsi. Questo sito, insieme soltanto a pochi altri nella Toscana, regi-

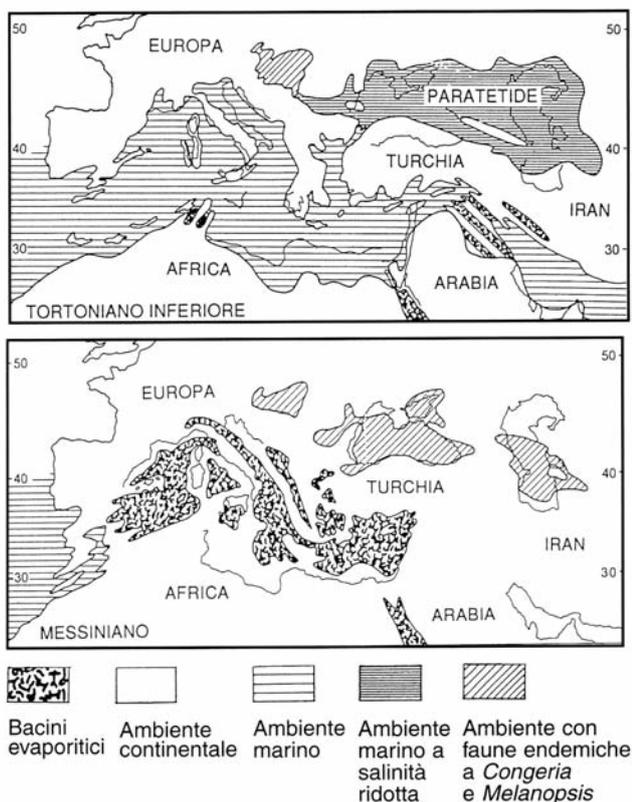


Fig. 1 - Il Paleomediterraneo e la Paratetide all'inizio del Miocene Superiore (Tortoniano), circa 10 milioni di anni fa (in alto) e durante la "crisi di salinità" messiniana verificatasi tra 6 e 5,3 milioni di anni fa (in basso) (da Rögl & Steininger, 1983).

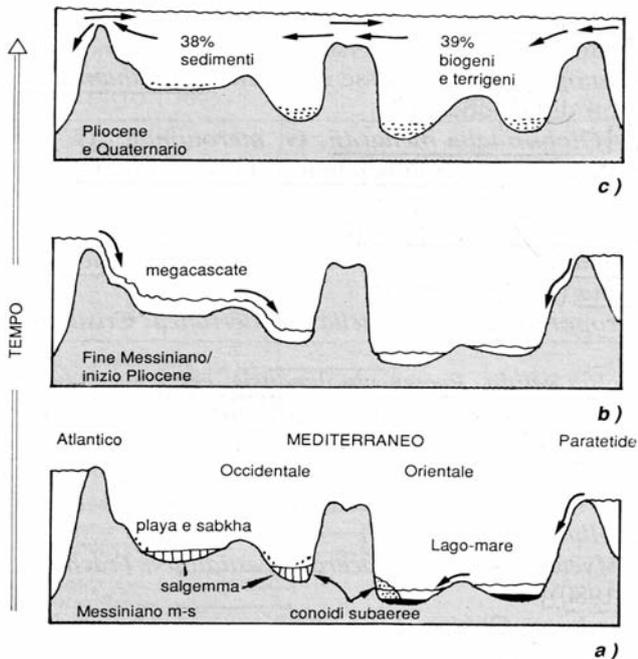


Fig. 2 - Sezioni ipotetiche est-ovest attraverso il Mediterraneo durante il Miocene Superiore (Messiniano) - Pliocene Inferiore (Zancleano) (da Cita, 1973).

stra in maniera molto chiara gli eventi verificatisi nell'area mediterranea alla transizione fra le epoche Miocene e Pliocene (Bossio *et al.*, 1993, 1998; Fioravanti *et al.*, 2000). Tali eventi possono essere

riassunti nel modo che segue. Intorno ai 6 milioni di anni fa, il Paleomediterraneo si ridusse prima a "bacino evaporitico" alimentato parzialmente dall'Oceano Atlantico e successivamente a "bacino isolato" per la chiusura definitiva delle comunicazioni con esso (Fig. 1). Mentre durante la fase di evaporazione si depositarono in più parti del bacino vasti giacimenti di salgemma e di gesso, in quella di isolamento il Paleomediterraneo si prosciugò almeno in parte, consentendo così la migrazione di numerosi generi di vertebrati tra l'Africa e l'Europa, e divenne sede di "laghi-mare" del tutto simili a quelli della cosiddetta Paratetide (consistente in una successione di ampi bacini lacustri che si estendeva dall'Austria fino al Mar Caspio). L'isolamento rimase tale fino a quando, per il cedimento della soglia di Gibilterra e per un probabile innalzamento eustatico del livello oceanico, le acque dell'Atlantico andarono nuovamente ad occupare il bacino ristabilendovi il dominio marino (Fig. 2).

Oltre alla documentazione degli aspetti più recenti dell'isolamento miocenico e della brusca invasione pliocenica delle acque oceaniche (e cioè la sovrapposizione in continuità di sedimenti francamente marini e relativamente profondi a sedimenti lacustri di minima profondità), nell'affioramento della cava di Borro Strolla sono ben evidenziate ulteriori situazioni ambientali le quali, nonostante abbiano portata più locale, rivestono egualmente elevato interesse scientifico.

Nella Sezione di Borro Strolla (Figg. 3-4) possono osservarsi, dal basso verso l'alto, le seguenti unità litostratigrafiche:

*Argille del Casino* – depositatesi in ambiente lacustre ("lago-mare") durante il Messiniano superiore (intervallo del Miocene compreso tra 5,9 e 5,3 milioni di anni fa);

*Argille azzurre* – depositatesi in ambiente marino durante il Pliocene Inferiore e Medio, da 5,3 a 3,3 milioni di anni fa. Nell'area della Strolla, esse comprendono le Argille del Borro dei Carfini (I ciclo marino pliocenico) e quelle di Casa Strolla (II ciclo marino pliocenico) di Bossio *et al.* (1993);

*Formazione di Casa Stieri* – consistente in conglomerati depositatisi in ambiente lacustre durante il breve intervallo compreso tra il I e il II ciclo marino pliocenico;

*Sabbie di Talciona* – depositatesi in ambiente marino nell'ambito di un intervallo verosimilmente compreso fra 3,6 e 3,2 milioni di anni fa.



Fig. 3 - La Sezione di Borro Strolla come si presentava al momento degli studi di Bosio *et al.* (1993) e di Fioravanti *et al.* (2000).

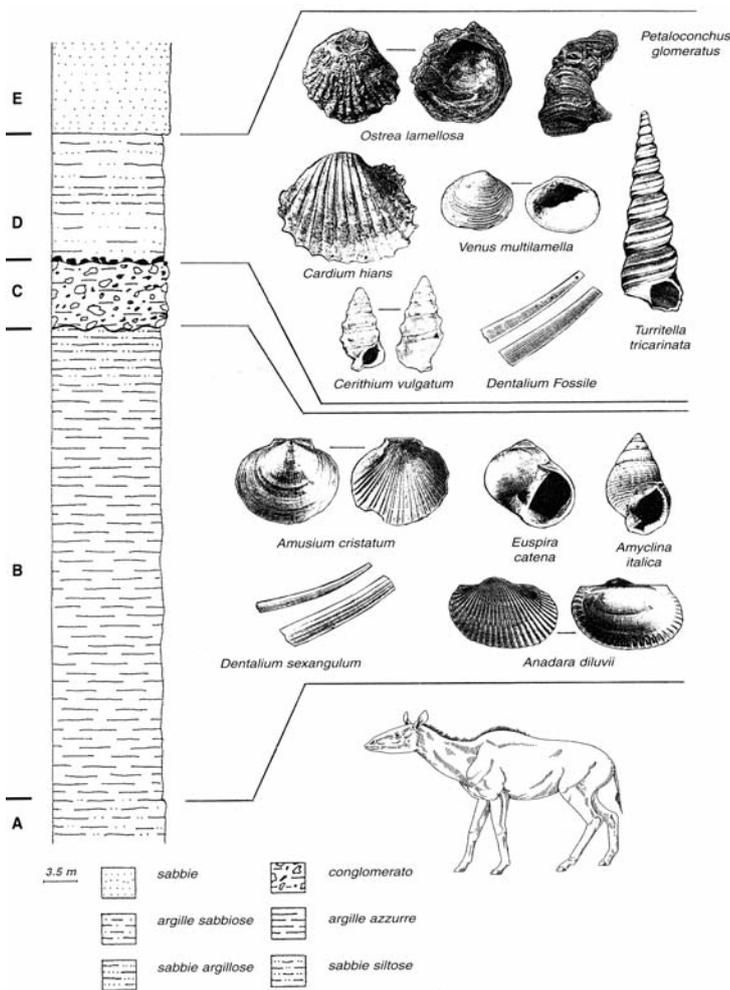


Fig. 4 - Schema della Sezione di Borro Strolla. Dal basso verso l'alto: (A) Argille del Casino, depositi lacustri di "lago-mare" del Miocene terminale; (B) Argille azzurre (Argille del Borro dei Carfini), relative al I ciclo sedimentario marino del Pliocene Inferiore; (C) Formazione di Casa Stieri, conglomerati lacustri del Pliocene Inferiore; (D) Argille azzurre (Argille di C. Strolla), relative al II ciclo sedimentario marino del Pliocene Inferiore-Medio; (E) Sabbie di Talciona, sedimenti marini del Pliocene Inferiore-Medio. Sul lato destro della colonna stratigrafica le specie di molluschi fossili maggiormente diffuse nei sedimenti argillosi del I e del II ciclo marino pliocenico. Il mammifero raffigurato in basso si riferisce ad un giraffide estinto, probabilmente un *Samotherium* o un *Helladotherium*, del quale è stato rinvenuto un metacarpo incompleto nelle Argille del Casino.

Per maggiore semplicità i sedimenti della sezione, dello spessore di 80 metri circa, sono stati suddivisi in 5 intervalli indicati, a partire dal basso, con le lettere A-E e descritti di seguito (Fig. 4).

Intervallo A - È costituito da argille di colore prevalentemente grigio tendente al verde, con tonalità più scure nel loro tratto sommitale a causa dell'elevato contenuto di materia organica. Queste argille, affioranti nella sezione per uno spessore di circa 4 metri, sono prive di stratificazione evidente.

L'intervallo è caratterizzato da abbondanza di molluschi d'acqua dolce (bivalvi dei generi *Dreissena* e *Lymnocardium* e piccoli gasteropodi a conchiglia sottile), ricorrenti vegetali carbonificati e concrezioni carbonatiche di probabile origine algale.

Intervallo B - Consiste in argille di colore grigio-azzurro prive di stratificazione e ricche di molluschi marini (bivalvi, gasteropodi e scafopodi). Nella porzione sommitale dell'intervallo, spesso circa 54 metri, le argille presentano macchie di colore variabile dal grigio al verde chiaro fino al marrone. Il contatto di questo intervallo con quello sottostante, che segna la nascita dell'attuale Mediterraneo, è netto e risulta evidenziato da un brusco cambiamento di colore, da una variazione nelle associazioni fossili e, ancor più, da un sottile livello ferruginoso ad andamento rettilineo.

Intervallo C - Dello spessore di circa 7 metri, è rappresentato da conglomerati ad elementi eterogenei (prevalentemente calcarei a grana fine), sia arrotondati che a spigoli vivi, le cui dimensioni variano da 1 fino a 40 centimetri, con dominanza di quelli al di sotto del decimetro. La matrice, in genere scarsa, è rappresentata da argilla più o meno sabbiosa di colore grigio-verde o grigio-marrone.

Intervallo D - Spesso poco più di 15 metri, è costituito in massima parte da argille sabbiose e sabbie argillose, di colore da grigio-giallastro a marrone chiaro, prive di stratificazione evidente e ricchissime in molluschi marini. La sua porzione

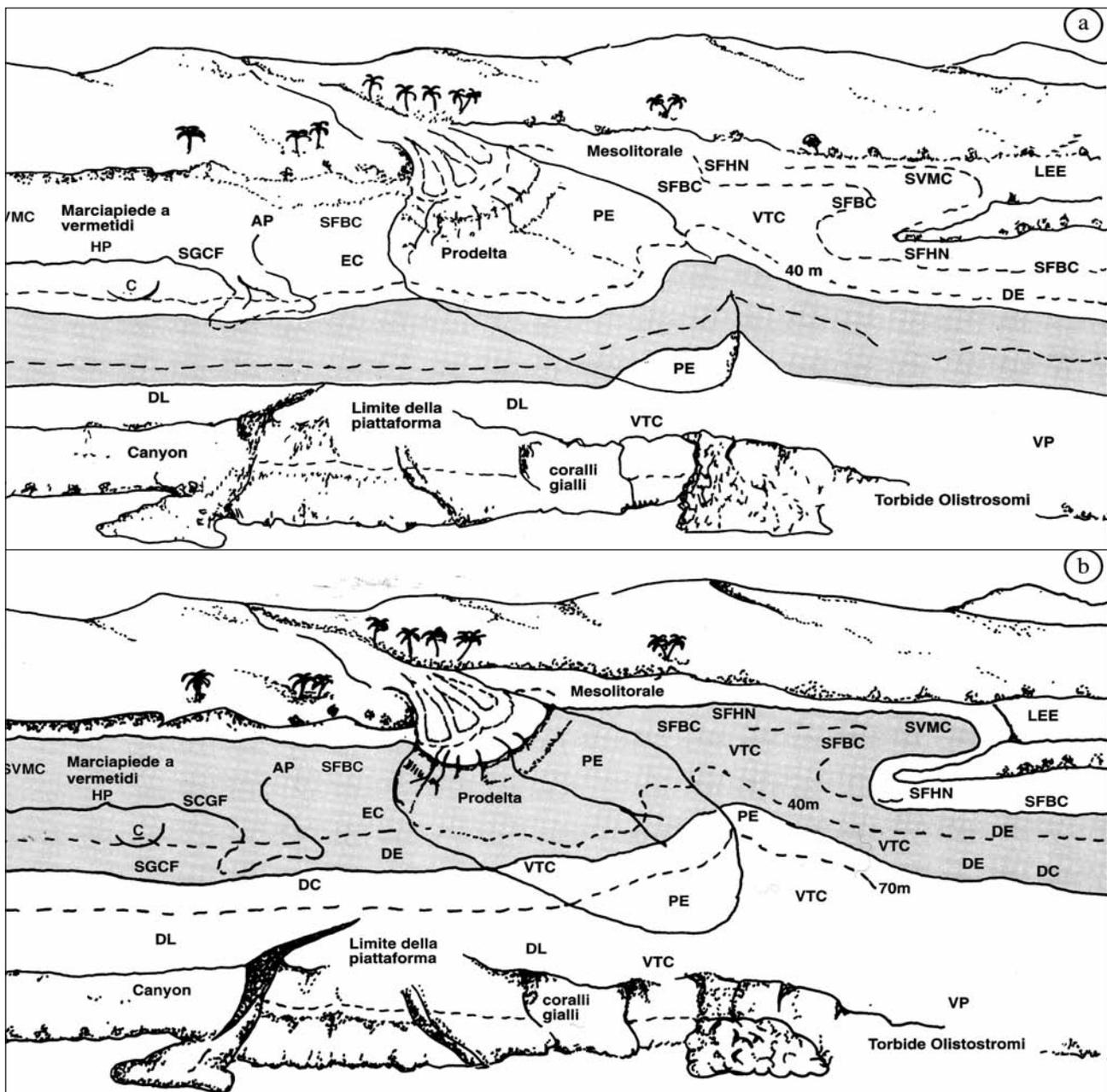


Fig. 5 - (a) Intervallo batimetrico (compreso fra - 50 e - 100 m circa) del piano circalitorale in cui si sono depositi i sedimenti del I ciclo pliocenico. (b) Intervallo batimetrico (compreso tra alcuni e - 60 m circa) dei piani infralitorale e circalitorale (porzione iniziale) in cui si sono depositi i sedimenti del II ciclo pliocenico. Lo schema generale della distribuzione delle biocenosi marine più significative nell'ambito della piattaforma continentale, con riferimento al tipo di substrato e alla batimetria, è ripreso da Blanc (1982).

basale è caratterizzata da un sottile livello di conglomerati di colore grigio-avana i cui elementi, in genere arrotondati, sono immersi in una matrice organogena o leggermente sabbiosa. I ciottoli sono spesso incrostati da alghe e perforati da organismi litofagi; nella matrice chiara si rinvencono numerosi esemplari di *Ostrea* di dimensioni medio-grandi.

Intervallo E - I sedimenti di questo intervallo, spesso circa 10 metri, sono rappresentati da sabbie ocracee a grana medio-fine, caratterizzate dalla presenza di molluschi marini prevalentemente in piccoli frammenti.

Accanto a frammenti di cirripedi (*Balanus*), chele di granchi, otoliti di pesci e placche di echinidi, il ricco materiale malacologico associato alle Argille azzurre annovera almeno 26 specie di bivalvi (tra i quali particolarmente abbondanti: *Amusium cristatum*, *Anadara diluvii*, *Pelecycora islandicoides* e *Venus multilamella* nel I ciclo; *Cardium hians*, *Chlamys multistriata*, *Circomphalus foliaceolamellosus*, *Mytilus scaphoides*, *Ostrea lamellosa*, *Pelecycora islandicoides* e *Venus verrucosa* nel II ciclo), almeno 23 specie di gasteropodi (tra i quali particolarmente abbondanti: *Amyclina italica*, *Aporrhais uttingeriana*, *Lunatia*

*helicina* e *Natica tigrina* nel I ciclo; *Cerithium vulgatum*, *Nassarius tersus*, *Natica tigrina*, *Neverita josephinia*, *Petalocochus glomeratus*, *Turritella spirata* e *Turritella tricarinata* nel II ciclo) e 2 specie di scafopodi (*Dentalium sexangulum* nel I ciclo e *D. fossile* nel II ciclo).

La presenza nelle argille di specie quali *Murex spinicosta*, *Mytilus scaphoides* e *Circomphalus folaceolamellosus*, che risultano essersi estinte intorno ai 3,2 milioni di anni fa, ossia in concomitanza con il primo drastico abbassamento di temperatura che determinò la scomparsa della maggior parte delle specie caratterizzanti la Mediterranean Pliocene Marine Molluscan Unit 1 (MPMU 1) di Raffi & Monegatti (1993), limita l'attribuzione cronologica dei depositi analizzati (intervalli B e D) al tratto Pliocene Inferiore-Pliocene Medio iniziale. Il riconoscimento della MPMU 1 nella Sezione di Borro Strolla costituisce un dato che ben si accorda con quelli di Bossio *et al.* (1993, 1998). L'appartenenza al Pliocene Inferiore di tali depositi, accertata da questi autori, limita le associazioni malacologiche di Borro Strolla alla porzione basale e medio-superiore della MPMU 1.

Applicando alle specie fossili un significato ambientale corrispondente a quello delle congeneri attuali ad esse maggiormente affini, Fioravanti *et al.* (2000) hanno inoltre effettuato un dettagliato studio paleoecologico della malacofauna associata alle Argille azzurre. Da tale studio, basato sui cinque classici parametri ambientali – la batimetria, il significato biocenotico, il trofismo (regime sospensivoro, detritivoro o carnivoro), la forma biologica (vagile, sedentaria o sessile) e l'*habitus* (epibionte, semi-endobionte o endobionte) – è risultato che le malacofaune plioceniche del I ciclo esprimono chiaramente la biocenosi dei fanghi terrigeni costieri accompagnata da altre ad essa compatibili quali le biocenosi dei fondi detritici costieri, dei fondi detritici invasi da fango e dei fondi mobili instabili (rispettivamente VTC, DC, DE e PE dello schema di Blanc, 1982), mentre quelle del II ciclo si presentano maggiormente articolate, esprimendo sostanzialmente la biocenosi delle praterie a *Posidonia* (HP) con elementi di biocenosi sia più distali (VTC, DC, DE) che più prossimali (delle sabbie fini ben calibrate – SFBC). In sostanza, la malacofauna del I ciclo risulta essere riferibile ad un intervallo del piano circalitorale compreso fra i –50 e i –100 metri di profondità, mentre quella del II ciclo riflette un intervallo batimetri-

co compreso fra alcuni e –60 metri dei piani infralitorale e circalitorale iniziale (Fig. 5).

Dal medesimo materiale malacologico è possibile anche tentare una ricostruzione delle condizioni climatiche nell'ambito delle quali si è realizzata la deposizione delle Argille azzurre. In generale tale deposizione risulta essere avvenuta in condizioni di tipo tropicale-subtropicale (ben testimoniate da specie come *Anadara diluvii* e *Venus multilamella*), non escludenti in ogni caso oscillazioni climatiche in senso temperato-caldo indicate da specie come *Natica tigrina* e *Turritella tricarinata*.

### **... che oggi, purtroppo, non è più leggibile**

L'articolo a carattere divulgativo di Fioravanti *et al.* (2000), intitolato *Motivazioni scientifiche per la salvaguardia della sezione mio-pliocenica di Borro Strolla presso Poggibonsi*, si muoveva già in un'ottica di geo-conservazione. “Purtroppo, però,” precisavano gli stessi autori (p. 79), “le condizioni attuali dell'affioramento argilloso (fitta copertura vegetale, frane in atto, lavori agricoli, ecc.) fanno prevedere una sua completa distruzione entro breve tempo. La tutela di questo sito viene pertanto a rappresentare per le autorità competenti un compito urgente ed imprescindibile nella salvaguardia e valorizzazione dei beni culturali territoriali.” Ciò che era stato previsto si è purtroppo verificato (Figg. 6-7).

Almeno per quanto concerne il caso del geosito valdelsano, è impossibile evitare di porsi i seguenti interrogativi:

– lo strumento di divulgazione utilizzato da Fioravanti *et al.* (2000) non era sufficientemente incisivo? Eppure sia l'Amministrazione comunale di Poggibonsi che quelle di Colle Val d'Elsa, San Gimignano, Casole d'Elsa, Radicondoli e Barberino Val d'Elsa conoscevano la rivista *Elsanatura* e ne condividevano le finalità. Inoltre, già ben prima della pubblicazione dell'articolo – in occasione cioè della VI Settimana della Cultura Scientifica (25-31 marzo 1996) promossa dal MURST ed organizzata dall'Ateneo di Siena – il geosito di Borro Strolla era stato illustrato dagli autori alle scuole di Poggibonsi ed alla cittadinanza valdelsana, che in tal modo ne avevano recepito l'importanza;

– esistevano difficoltà di “comunicazione” e di coordinamento tra gli Enti di ricerca e le Ammini-



**Fig. 6** - Come si presenta attualmente la Sezione di Borro Strolla. Dal confronto con la figura 3 il possibile geosito risulta completamente illeggibile non tanto per la copertura vegetale, quanto per le estese “frane” impostatesi nelle argille del I ciclo marino pliocenico e per le “colate” di fango ad esse conseguenti (le linee tratteggiate delimitano le “frane” più evidenti).



**Fig. 7** - La parte superiore della sezione, riguardante la formazione conglomeratica lacustre di Casa Stieri e i depositi trasgressivi del II ciclo marino (al di sopra della linea tratteggiata), è del tutto compromessa sia dalla copertura vegetale piuttosto intensa che dai lavori di scasso ed agricoli connessi con l'impostazione di un vigneto.

strazioni locali, per cui i risultati delle indagini scientifiche effettuate sul territorio non venivano adeguatamente acquisiti?

Fortunatamente, come si è visto, in materia di geo-conservazione le cose in Italia hanno cominciato a cambiare a partire dagli anni 90 del secolo scorso. Non c'è alcun dubbio che il proliferare delle iniziative in tal senso, da parte sia universitaria che politico-amministrativa, rappresenti un fatto positivo. Ancora più positivo sarebbe, però, agire in modo che le suddette iniziative cessino di rimanere limitate ad una cerchia ristretta di persone per essere coordinate a livello sia nazionale che regionale e provinciale. D'altra parte, non soltanto manca una legislazione adeguata, ma neppure c'è chiarezza nella *prassi da seguire*, da un lato per l'individuazione, il censimento e la tutela dei geositi, dall'altro per lo studio e la valorizzazione della conoscenza che essi esprimono. A questo proposito si ricorda ancora che è da ritenersi insufficiente proporre inventari di siti (tramite "schede sperimentali" tipo quelle dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi sociali – APAT) e riportarli in *databases*, ma occorre soprattutto istituire un comitato "ufficiale" di riferimento, composto da esperti nelle diverse discipline, il quale attesti l'effettività o meno di un geosito sulla base di parametri quali il valore scientifico-culturale, la rarità, lo stato di conservazione, l'accessibilità, l'importanza paesaggistica, e così via.

Se – come auspichiamo – quanto sopra si realizzasse conducendo alla diffusione di una vera e propria "cultura territoriale", i geositi potrebbero anche convertirsi in consistenti sorgenti di lavoro, ad esempio per quanto concerne il settore turistico. D'altra parte, neppure va dimenticato che nell'ambito dei nuovi corsi universitari sono previsti, per la futura attività dei giovani laureati, più stretti agganci con la realtà e le problematiche del territorio.

## Testi citati

Blanc J.J. (1982) – *Sédimentation des marges continentales (actuelles et anciennes)*. Masson, Paris.

Bossio A., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1993) – *Nuovi dati sui depositi Mio-Pliocenici del settore meridionale del Bacino del Fiume Elsa*. Paleopelagos, 3: 97-108.

Bossio A., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1998) – *Carta Geologica dell'area compresa tra Siena, Poggibonsi e Castellina in Chian-*

*ti (Provincia di Siena)*. Pubbl. Dipart. Scienze della Terra, Univ. di Siena.

Cita M.B. (1973) – *Mediterranean evaporite: palaeontological arguments for a deep-basin desiccation model*. In: *Messinian events in the Mediterranean* (Drooger C.W. ed), 206-228, North-Holland, Amsterdam.

Fioravanti V., Fondi R. & Mazzei R. (2000) – *Motivazioni scientifiche per la salvaguardia della sezione mio-pliocenica di Borro Strolla presso Poggibonsi*. *Elsanatura*, 1: 78-93.

Massoli-Novelli R. (2001a) – *Inventari di geositi in Italia: stato dell'arte*. *Geologia dell'Ambiente*, 1, SIGEA, Roma, 10-13.

Massoli-Novelli R. (2001b) – *Geositi e Paesaggio*. *Geologia dell'Ambiente*, 2, SIGEA, Roma, 36-40.

Nangeroni G. (1968) – *Protezione dei fenomeni geologici e geomorfologici in Italia*. *Natura, Soc. Ital. Scienze Naturali - Museo Civ. St. Nat. - Acquario Civ. Milano*, 69 (1): 10-22.

Piacente S. & Poli G. (2003) – *La memoria della Terra, La Terra della memoria*. Ed. L'inchiostroblu, Bologna.

Panizza M. (1988) – *Beni morfologici e tutela*. *IBC* (1/2): 73-74.

Panizza M. & Piacente S. (1989) – *Geomorphological assets evaluation*. *Proc. Int. Geomorph.*, Frankfurt.

Panizza M. & Piacente S. (2003) – *Geomorfologia Culturale*. Pitagora Editrice, Bologna.

Piacente S. & Coratza P. (2005) – *Geositi nel paesaggio italiano: ricerca, valutazione e valorizzazione*. *Il Quaternario*, 18 (1), Volume Speciale (Geomorphological Sites and Geodiversity).

Praturlon A. (1986) – *Protezione dei beni geologici e paleontologici*. *Atti Convegni dei Lincei*, 76: 81-87.

Raffi S. & Monegatti P. (1993) – *Bivalve taxonomic diversity throughout the Italia Pliocene as a tool for climatic-oceanographic and stratigraphic inferences*. *Proceedings I R.C.A.N.S. Congress, Lisboa 1992, Ciencias da Terra (UNL)*, 12: 45-50.

Rögl F. & Steininger F.F. (1983) – *Vom Zergall der Tethys zu Mediterranean und Paratethys*. *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 85/A: 135-163.

Wimbledon W.A.P., Benton M.G., Bevins R.E., Black G.P., Bridgland D.R., Cleal C.J., Cooper R.G. & May V.J. (1995) – *The development of a methodology for the selection of British geological sites for conservation: Part 1*. *Modern Geology*, 20: 159-202.

# Il Sistema Museale dell'Ateneo di Siena: una realtà in continuo sviluppo

Angela Tavone

Studentessa di Comunicazione Naturalistica e Ambientale (CONAM), Università degli Studi di Siena  
angelatavone@hotmail.com

*Non è del tutto improprio paragonare l'impulso umano a conservare e a tramandare cose che documentino ogni sua trascorsa esperienza a quell'istinto di conservazione che è prerogativa di ogni essere vivente. È ovvio che quanto più forte si dimostri tale impulso, tanto più solido risulterà quel ponte di collegamento con il passato che potrà permetterci di trasferirci nel futuro attraversando il fiume degli eventi presenti senza farsi da essi trascinare con il rischio di venirne travolti. In quest'ottica, come recentemente ha sottolineato anche il Rettore del nostro Ateneo, le collezioni ed i musei universitari non possono che costituire "preziose fonti di informazioni storiche e scientifiche ed efficaci mezzi di diffusione dei saperi".*

Che cosa sarebbe un'università senza la sua storia? Forse è più semplice indicare che cosa essa *non* sarebbe. Non sarebbe né una culla per la crescita culturale personale e collettiva, né una base per partenze e sviluppi di ricerca nuovi, né un potente modello di riferimento sociale, né un serbatoio prezioso dal quale attingere per investire in ogni sorta di progresso sociale. Consapevole di ciò e dei suoi oltre sette secoli e mezzo di vita (i primi documenti che ne attestano l'esistenza risalgono al 1240), l'Ateneo di Siena ha stabilito di inventariare le testimonianze più significative del proprio passato e di ordinarle in un insieme di raccolte museali che ne esprimano ai componenti dell'Ateneo medesimo ed a tutti gli altri interessati i differenti percorsi culturali.

Il Sistema Museale di Ateneo (SIMUS) è il frutto di un progetto realizzato nel settembre del 1999, allorché la Conferenza dei Rettori delle Università Italiane (CRUI) istituì una Commissione nazionale di delegati rettorali al fine di studiare le problematiche relative alle collezioni storiche degli atenei italiani e di promuovere dibattiti e confronti inerenti la museologia scientifica. La suddetta Commissione ha ritenuto prioritaria la costituzione, per ciascuna università, di un Sistema Museale di Ateneo quale strumento sia per la tutela e la valorizzazione del proprio patrimonio storico-scientifico, sia per agevolare e migliorare (aderendo così all'art. 1, comma 2 della legge 10 gennaio 2000, n. 6) la diffusione della cultura scientifica

Per essere esatti, l'Università di Siena si era mossa in questa direzione già un decennio prima tramite iniziative di recupero del patrimonio storico-scientifico ospedaliero: iniziative che nel 2003 sono state regolamentate in un apposito Centro servizi di Ateneo per la tutela e valorizzazione dell'antico patrimonio scientifico senese (CUTVAP). Due anni dopo è stato costituito un Comitato composto da docenti delle varie facoltà con il compito di individuare i beni patrimoniali di carattere storico, archeologico, artistico, scientifico e naturalistico presenti nell'Ateneo. Infine, per decreto rettorale, nel novembre 2007 è nato il Sistema Museale dell'Ateneo Senese, dotato di un proprio regolamento ed avente appunto il compito di salvaguardare, arricchire e valorizzare



Serie di bisturi.

i suddetti beni tramite anche la produzione di cataloghi ed altre pubblicazioni, sia scientifiche che divulgative, il coordinamento di attività espositive, la partecipazione dell'Università a progetti museologici (locali, regionali, nazionali ed internazionali) e la promozione di attività didattiche finalizzate a diffondere la conoscenza del patrimonio museale di Ateneo.

Con l'istituzione del SIMUS si è voluto dar vita ad un coordinamento delle varie realtà museali di ateneo pur rispettandone pienamente l'autonomia. Come mai si è sentita la necessità di creare un "sistema"? La risposta sta nel significato di questo termine, che indica il legame di un soggetto con altri soggetti, o meglio un insieme di relazioni, in questo caso relative ad una data sfera culturale a carattere territoriale. In fondo, mettere in collegamento più enti museali comporta numerosi benefici, quali ridurre tempi ed i costi di gestione e di comunicazione, accrescere la varietà e l'integrazione dell'offerta culturale, favorire lo scambio di idee e migliorare l'immagine di ogni soggetto partecipante. Il SIMUS, d'altra parte, ha stabilito proficue connessioni con istituzioni analoghe di livello sia provinciale come la Fondazione Musei Senesi, sia nazionale come l'Associazione Nazionale Musei Scientifici (ANMS), sia internazionale come l'International Council of Museum (ICOM).

Attualmente il SIMUS include sette musei di natura e finalità differenti.

*Archivio e Percorso Museale d'Ateneo* – L'archivio conserva la documentazione prodotta ed acquisita dall'Ateneo senese dal 1560 al 1955, la quale consente di comprendere sia come esso è cambiato in ogni suo aspetto durante questo lungo lasso di tempo, sia di ricostruire le biografie delle persone che vi hanno insegnato, studiato o svolto attività di altro genere. Oltre a documenti scritti, pertanto, l'archivio include oggetti come sigilli, timbri, "mazze del bidello", ecc.

*Collezione del Centro Servizi di Ateneo per la Tutela e la Valorizzazione dell'Antico Patrimonio scientifico senese (CUTVAP)* – Istituito nel 1994 con il principale scopo di conservare le collezioni storico-scientifiche dell'Ateneo senese, il Centro è anche la struttura che eroga servizi per il SIMUS quali la gestione, la comunicazione, la segreteria ed il coordinamento dei progetti. Prestando il suo servizio sia all'interno dell'Ateneo che all'esterno di esso (ad es. con ospedali, istituzioni e privati), il CUTVAP interviene dovunque



Pipette.

vi sia la necessità di tutelare e valorizzare collezioni, strumenti ed ogni altra sorta di bene scientifico-culturale, occupandosi del recupero degli strumenti e dei volumi, dell'inventariazione e catalogazione cartacea ed informatica, del restauro conservativo, della ripresa fotografica e della consulenza scientifica. In circa dieci anni di attività, il CUTVAP ha così potuto recuperare e raccogliere in un deposito organizzato oltre 3.000 strumenti appartenenti per lo più al campo medico. Inoltre, mantenendosi in costante relazione con musei scientifici universitari e non, sia a livello nazionale sia internazionale, il Centro svolge attività non soltanto di supporto alla didattica ed alla comunicazione e divulgazione scientifica, ma anche di formazione professionale degli operatori del settore quali catalogatori, restauratori, archivisti e tecnici della sicurezza. Vengono così effettuati corsi anche per dipendenti universitari, con l'obiettivo di fornire una preparazione di base nei vari ambiti della tutela e della valorizzazione, nonché di recuperare, quando possibile, un sapere tecnico che era proprio del personale universitario addetto alle collezioni di preparati, reperti, strumenti, ecc., e che oggi si sta ormai perdendo. In continuità con questa



Test di intelligenza.

vocazione formativa ed in collaborazione con il Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze, il CUTVAP promuove anche un Master universitario di primo livello in Tutela e Gestione dei Beni Naturalistici e Storico-Scientifici, il primo del suo genere in Italia.

*Collezioni delle sezioni di Preistoria, Archeologia Classica e Archeologia medievale* – Le numerose attività di ricerca sul campo, effettuate con ricognizioni e scavi dalla sezione di Archeologia del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, hanno permesso di raccogliere una cospicua quantità di reperti. Si tratta di alcune migliaia di oggetti databili dalla Preistoria al Rinascimento e provenienti soprattutto dalla Toscana. Le collezioni sono sistemate ed organizzate in modo da essere utilizzate per motivi di studio da ricercatori e da studenti, ma sono anche collegate a percorsi tematici per utenti esterni.

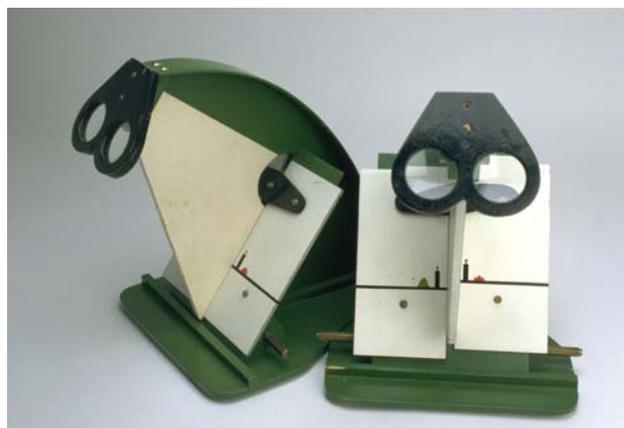
*Museo Botanico: Orto botanico ed Erbario* – Istituito nel 1856 col fine di diffondere la cultura tecnico-scientifica e di tutelare e valorizzare il patrimonio naturalistico e storico-scientifico dell'Ateneo senese, attualmente il complesso Orto botanico ed Erbario punta alla formazione e alla divulgazione, avvicinando concretamente le scuole, gli studenti universitari ed i cittadini tutti ai problemi della conservazione della biodiversità e della sostenibilità. L'Orto botanico si estende per una superficie di due ettari e mezzo, per lo più in forte declivio, e raccoglie oltre 1.000 specie. Una parte di esso mantiene l'allestimento di stile ottocentesco, mentre altri ambienti sono di recente costruzione. Quanto all'Erbario, esso conserva oltre 80.000 campioni essiccati di piante vascolari, funghi, licheni, briofite ed alghe, e funge soprattutto da archivio storico per le ricer-

che botaniche svolte dal Dipartimento di Scienze Ambientali.

*Museo Anatomico "Leonetto Comparini"* – Il museo risale al 1860, ma la sua ultima ristrutturazione, che ne ha notevolmente accresciuto la valorizzazione, è del 2001. Le collezioni in esso contenute sono piuttosto varie: un'importante raccolta osteologica, pregiati arredi ottocenteschi, un'antica cappa da laboratorio, numerosi modelli anatomici in cera ed alcuni preparati anatomici essiccati con l'iniezione del mercurio metallico nei vasi linfatici secondo la tecnica operata da Mascagni. Tutti questi oggetti sono utilizzati prevalentemente dagli studenti universitari.

*Museo Nazionale dell'Antartide "Felice Ippolito"* – In tempi recenti lo studio delle "carote" di ghiaccio ottenute per trivellazione nelle regioni polari si è dimostrato di enorme importanza per comprendere l'evoluzione dei cambiamenti climatici dal Pleistocene superiore ad oggi. D'altra parte, poiché l'Antartide gioca un ruolo fondamentale nella regolazione del "sistema Terra", condizionandone le circolazioni oceaniche, il clima e tutte le comunità biosferiche, gli specialisti dell'Ateneo hanno avvertito l'utilità di un museo quale strumento di informazione, conoscenza e riflessione. In esso sono conservati 19.000 campioni di rocce e ben 1.100 meteoriti raccolti in Antartide nel corso delle spedizioni del Programma Nazionale di ricerche. Il museo contiene anche una ricca biblioteca multidisciplinare, con oltre 5.000 titoli pubblicati dal 1840 ad oggi.

*Museo di Scienze della Terra* – Situato nel Dipartimento di Scienze della Terra, il museo include collezioni petrografiche e paleontologiche raccolte dagli anni '60 ad oggi. Sebbene i reperti conservati ammontino a qualche migliaio,



Stereoscopio.



Tavolo dissectorio.

i campioni esposti a scopo essenzialmente didattico sono collocati in diciassette vetrine. Oltre ai campioni, fanno parte della collezione anche alcune carte geologiche degli ultimi anni del XIX secolo e strumenti di ricerca della prima metà del secolo scorso. Il Dipartimento è impegnato nell'attività di individuazione, tutela e valorizzazione dei siti di rilevante interesse geo-paleontologico, definiti geositi, nonché in quella di salvaguardia del patrimonio mineralogico della provincia di Siena e della Toscana meridionale in generale.

Prossimamente ai sette musei del SIMUS si aggiungerà l'ottavo, con sede presso il Dipartimento di Fisica, consistente in una collezione di circa 370 strumenti del XIX secolo destinata prevalentemente ad usi didattici.

A poco più di un anno dalla sua istituzione, il SIMUS si è impegnato in numerose attività didattiche, divulgative e formative. Uno dei suoi primi prodotti è il *Quaderno dell'offerta didattica*, destinato sia alle scolaresche che agli studiosi della materia. Proponendo percorsi didattici su numerosi temi scientifici – dalle collezioni botaniche a quelle anatomiche, dallo studio dei reperti archeologici a quello dei campioni di rocce e minerali, dalle collezioni di antichi strumenti medici a quelle di meteoriti – il “quaderno” rappresenta un utile strumento soprattutto per gli insegnanti che desiderino ampliare gli argomenti normalmente insegnati e, magari, fornire agli alunni nuove ed interessanti chiavi di lettura per avvicinarsi ed appassionarsi al mondo della scienza in generale.

Integrandosi con gli enti socio-culturali locali, il SIMUS ha partecipato al progetto “Percorsi Museali” della Fondazione Musei Senesi, la quale interessa ben trentaquattro strutture provinciali. Obiettivo del progetto è quello di proporre

temi comuni che siano suscettibili di coinvolgere l'attività di musei geograficamente distanti e con vocazioni diverse, delineando così ampi itinerari che investano l'intero territorio. Sebbene molti possano essere i temi da porre sul tavolo, quelli finora proposti sono stati la donna, la terracotta, l'acqua ed il paesaggio. La sola parola “acqua”, ad esempio, è in grado di coinvolgere il Museo del Paesaggio di Castelnuovo Berardenga con il Museo del Cristallo di Colle Val d'Elsa, il Museo “Le energie del territorio” di Radicondoli e il Museo Botanico e di Scienze della Terra di Siena. E molti percorsi ancora potrebbero essere delineati. Come il Quaderno, anche i Percorsi Museali hanno come obiettivo prevalente l'ambiente scolastico, puntando ad offrire agli alunni la possibilità di partecipare a veri e propri laboratori didattici nei quali acquisire le giuste conoscenze, manipolare gli strumenti più opportuni e divenire così i protagonisti del “fare scienza”.

Le proposte delineate nel *Quaderno dell'offerta didattica* e dal progetto dei Percorsi Museali si rivolgono anche ad un pubblico più vasto, in quanto rappresentano un approccio al territorio effettuato tramite escursioni e visite esterne ai musei. Alcuni itinerari interessanti, ad esempio, sono stati scelti dal CUTVAP, che ha proposto di far conoscere la storia della terapia delle malattie mentali a Siena prima, durante e dopo l'istituzione dei manicomi, suggerendo ai visitatori un percorso che va dall'ex Ospedale Psichiatrico San Niccolò all'Orto dei Pecci. Per quanto concerne, invece, la nascita e lo sviluppo dell'istituzione ospedaliera in se stessa, il centro nevralgico rimane il complesso museale del Santa Maria della Scala, che del resto fu anche uno dei più importanti ed antichi ospedali europei. Interessanti sono anche i percorsi proposti dal Museo di Scienze della Terra, come quello riguardante il



Modello di orecchio in cera.



Museo Nazionale dell'Antartide.

sottosuolo di Siena, alcuni tratti del quale costituiscono un vero e proprio archivio di vicende naturali ed umane; né meno affascinanti sono le visite ad una cava di marmo “giallo di Siena” della Montagnola e ad un laboratorio artigianale dove questo viene lavorato.

Dal punto di vista divulgativo, la più recente produzione del SIMUS è il documentario *Il bello e la divulgazione della scienza – l'inesplorato mondo delle collezioni scientifiche*, prodotto in collaborazione con la Fondazione Musei Senesi e la Regione Toscana. Dando allo spettatore la sensazione di trovarsi come in una galleria d'arte, ricca di oggetti e di colori assai disparati, il documentario mostra come sia possibile considerare e scoprire la scienza anche sotto un'altra luce: quella dell'arte.

Un'altra interessante iniziativa di tipo divulgativo è stata la partecipazione ad un progetto che la Regione Toscana propone ogni anno, denominato “Amico museo” e mirato a creare occasioni per avvicinare il pubblico al museo come luogo non soltanto di storia e di scienza, ma anche di vita e di passioni che possono essere narrate e ripercorse. Poiché in tutta la regione ogni museo che aderisce al progetto può proporre una propria iniziativa, per la scorsa primavera il SIMUS ha ideato una caccia al tesoro virtuale, dal titolo “Il tesoro dei musei universitari senesi”. Con lo stile del gioco, ciascuna risposta corretta data ad una domanda permetteva di trovarne un'altra, finché si scopriva il luogo segreto dov'era nascosto il tesoro. Una medaglia, una terracotta, dei semi, un tronco fossile, un minerale, un paio di bisturi: questi erano gli oggetti che ognuno dei sette musei aveva scelto tra i più pregiati delle proprie collezioni, per costituire il tesoro che è stato poi allestito all'interno di una cassaforte presso il Museo di Arte Contemporanea

“Le Papesse”. Ogni utente che aveva partecipato alla caccia al tesoro *on line* aveva poi così potuto ammirare dal vero tali pregevoli pezzi. Un modo, quindi, per portare a conoscenza soprattutto dei più piccoli quali cose contengono i musei e perché è così importante conservarle e valorizzarle.

## Testi di riferimento

Caronna A., Cassetti M. & Terenna G. (a cura di) (2008) – *Materiali in corso, attività e indici* (voll. 1-9) - Materiali 10, Patrimonio storico-scientifico dell'Università degli Studi di Siena. Centro Servizi di Ateneo Tutela e Valorizzazione Antico Patrimonio Scientifico Senese, Siena.

CUTVAP (2008) – *Quaderno dell'offerta didattica*. Sistema Museale di Ateneo, Università degli Studi di Siena.

Fondazione Musei Senesi – *Percorsi museali senesi*.

Regione Toscana (2007) – *Il patrimonio storico-artistico delle aziende sanitarie. Prospettive di tutela e valorizzazione*. Atti del convegno regionale, 9 giugno 2006.

## Siti internet

<http://www.unisi.it/ateneo/simus>

<http://www.unisi.it/post-laurea/tutelabns>

<http://www.museisenesi.org>

<http://www.museobotanico.unisi.it/pages/mm363.jsp?section=363>

<http://www.passus.it>

[http://www.cultura.toscana.it/musei/amico\\_museo](http://www.cultura.toscana.it/musei/amico_museo)

<http://www.trekkingurbano.info>

# Io, il lettore

*Io, il lettore*



Geco verrucoso, *Hemidactylus turcicus* (Linnaeus, 1758)  
Foto "Il Graffio", Follonica

# Come far percepire il legame fra la Natura e lo sviluppo culturale: un programma formativo per gli alunni della Scuola elementare

*Simona Serpi*

Scuola Primaria Statale, Via Buozzi – Follonica (Grosseto)

L'ambiente naturale costituisce la "casa" dell'Uomo sia dal punto di vista culturale che biologico, poichè in esso l'essere umano è apparso e si è evoluto.

Dalla notte dei tempi fino ai giorni nostri, la Natura continua ad essere di stimolo per il genere umano, sia in termini di conoscenza che come fonte di materie prime fondamentali per la nostra alimentazione, la nostra salute, la nostra vita quotidiana, il nostro progresso. Questo motiva la richiesta, da parte delle Istituzioni scolastiche, di sviluppare le tematiche che riguardano la relazione tra Uomo e Natura ed offre agli insegnanti numerose occasioni per approfondire i più vari argomenti di tipo scientifico e/o antropologico e creare negli alunni coscienza e responsabilità verso le tematiche ambientali. È infatti imprescindibile riconoscere che se da un lato l'Uomo è il fattore più pericoloso per la Natura, dall'altro è colui che è deputato alla sua salvaguardia e al suo sviluppo.

Le Indicazioni Nazionali emanate dal Ministero dell'Istruzione per quanto riguarda il secondo biennio della scuola primaria prevedono per lo studio di Storia e Geografia, oltre alla conoscenza

delle Civiltà classiche e il loro rapporto con la Natura, anche di "scoprire radici storiche antiche... della realtà locale", "riconoscere le più evidenti modificazioni apportate nel tempo dall'Uomo sul territorio...", "esplicitare il nesso tra l'ambiente, le sue risorse e le condizioni di vita dell'Uomo". Questo è stato il punto di partenza per la progettazione del lavoro delle classi V (anche se ciò non poteva essere fatto senza quello propedeutico svolto fin dalla classe I), il quale ha "allenato" i ragazzi all'osservazione dei particolari del mondo circostante, a classificare materiali, a ricercare il perchè delle cose e dei fenomeni, a ragionare su di essi per formulare ipotesi e tesi: in poche parole, il metodo galileiano applicato in contesti diversi da quello strettamente scientifico al quale siamo abituati a pensarlo.

Con gli alunni sono stati analizzati da vari punti di vista (morfologico, antropico, paesaggistico, climatico, cartografico, naturalistico, ecc.) Follonica ed il suo territorio, nonché le zone circostanti fino ai Tomboli dell'Argentario, promovendo occasioni di confronto tra le diverse esperienze ed analizzando il profondo rapporto che esiste tra l'ambiente e l'Uomo attraverso i segni lasciati da entrambi. Ad esempio, essi hanno potuto rilevare non solo la stretta relazione fra la struttura del territorio maremmano e il fatto che questo sia stato per lungo tempo paludoso, ma anche come tutto ciò abbia influito sulla vita dell'Uomo: infatti, questi ha dovuto costruire paesi sulle colline per difendersi dalla zanzara anofele (oltre che dai predoni) e procurarsi terreno coltivabile bonificando gli acquitrini, analogamente a quanto fatto dagli antichi Egizi per le aree deltizie del Nilo.



*Fig. 1* - Tratto del Fiume Ombrone nei pressi di Grosseto.



Fig. 2 - Ricostruzione da parte degli alunni del pavimento e dell'affresco ritrovati nella Tomba delle Leonesse della necropoli etrusca di Tarquinia.

Tra tutti i fiumi italiani, quello che i ragazzi hanno conosciuto meglio è senz'altro l'Ombrone, il corso d'acqua più importante della nostra zona (Fig. 1). Attraverso il suo studio dalla sorgente alla foce sulle carte geografiche disponibili, essi hanno potuto scoprire aspetti generalizzabili a tutti i corsi d'acqua. In particolare hanno compreso bene che l'andamento di un fiume è dovuto alla natura ed alla conformazione dei terreni da esso attraversati e che ogni corso d'acqua può costituire sia una grande ricchezza (come nel caso delle Civiltà dei Grandi Fiumi), sia una fonte di terribili disastri (quando l'uomo gestisce male questa risorsa).

Altro argomento affrontato è il Mare Mediterraneo, da interpretare come vera e propria "culla di civiltà". Le sue peculiarità geografiche (è protetto e circoscritto, per cui i collegamenti tra le sue sponde sono relativamente facili da attuare) e fisi-

co-chimiche (la temperatura e la salinità delle sue acque lo rendono prezioso sia dal punto di vista della pesca che da quello della produzione di sale) hanno fatto sì che i popoli che ne hanno abitato le coste e che si sono avventurati nelle sue acque abbiano sviluppato relazioni fondamentali per la crescita di ogni cultura.

Il lavoro di Storia della classe V si è concentrato sugli Etruschi, prima civiltà importante del nostro territorio. Siamo partiti dalla consultazione di alcune carte tematiche indicanti i luoghi dei ritrovamenti archeologici e dallo studio di alcuni documenti di Erodoto riguardanti le origini di questo popolo. Dai luoghi (Follonica e zone limitrofe) e dalla tipologia dei ritrovamenti si è potuto ricostruire le attività a cui gli Etruschi localmente si dedicavano: ad esempio la produzione di vasi in località Il Puntone, l'attività



Fig. 3 - Ricostruzione da parte degli alunni del pavimento e dell'affresco ritrovati nella Tomba della Caccia e della Pesca della necropoli etrusca di Tarquinia.

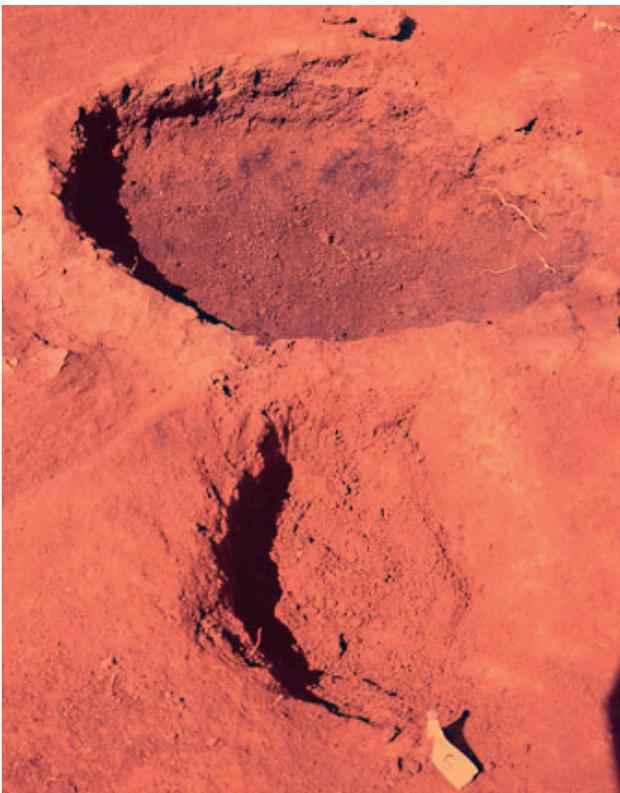


Fig. 4 - Area archeologica dei forni fusori di Rondelli (Follonica)

siderurgica nella zona di Rondelli (Fig. 4) e la produzione di mattoni a Poggio Fornello. Una riflessione importante concerne il fatto fondamentale che per tutte queste attività era necessa-

rio molto legname e quindi un ambiente naturale idoneo a fornirlo.

Questo lavoro è stato arricchito ed integrato da alcune esercitazioni manuali come lo sbalzo su rame e il modellamento della creta, utilizzate dai ragazzi sia per riprodurre disegni di reperti archeologici, sia per produzioni originali. La visita alla necropoli ed al Museo Archeologico Nazionale di Tarquinia, nonché quella al Museo Archeologico di Grosseto, hanno consentito inoltre di contestualizzare le conoscenze apprese a scuola mettendo soprattutto in relazione lo sviluppo delle prime civiltà ed i loro stili di vita con le immigrazioni attuali (Figg. 2-3).

Particolare attenzione è stata rivolta anche alle pietanze della nostra tradizione (la minestra di farro, le zuppe di verdura, il castagnaccio, ecc.): un argomento, questo, apparentemente “leggero” e al di fuori delle tematiche affrontate, ma che invece ha rivelato collegamenti assai interessanti tra l'alimentazione da un lato ed il territorio con la sua storia dall'altro. Con queste strette connessioni, ottimamente esemplificate dalla società che gestisce la mensa scolastica attraverso la preparazione di un “pranzo etrusco”, è stato degnamente concluso il ciclo scolastico quinquennale.

## La parola all'immagine

*La parola all'immagine*



Rana italiana o appenninica, *Rana italica* Dubois, 1987  
Foto "Il Graffio", Follonica

# La terra che fuma: le “biancane” di Monterotondo Marittimo (GR)

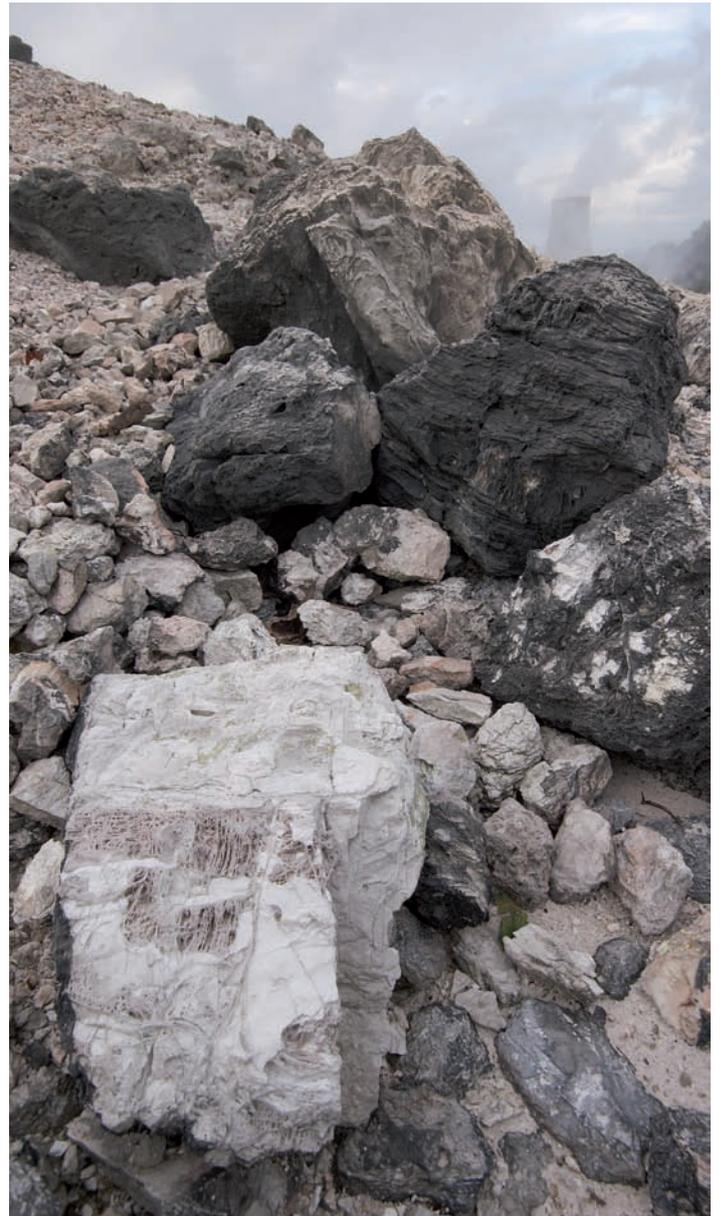
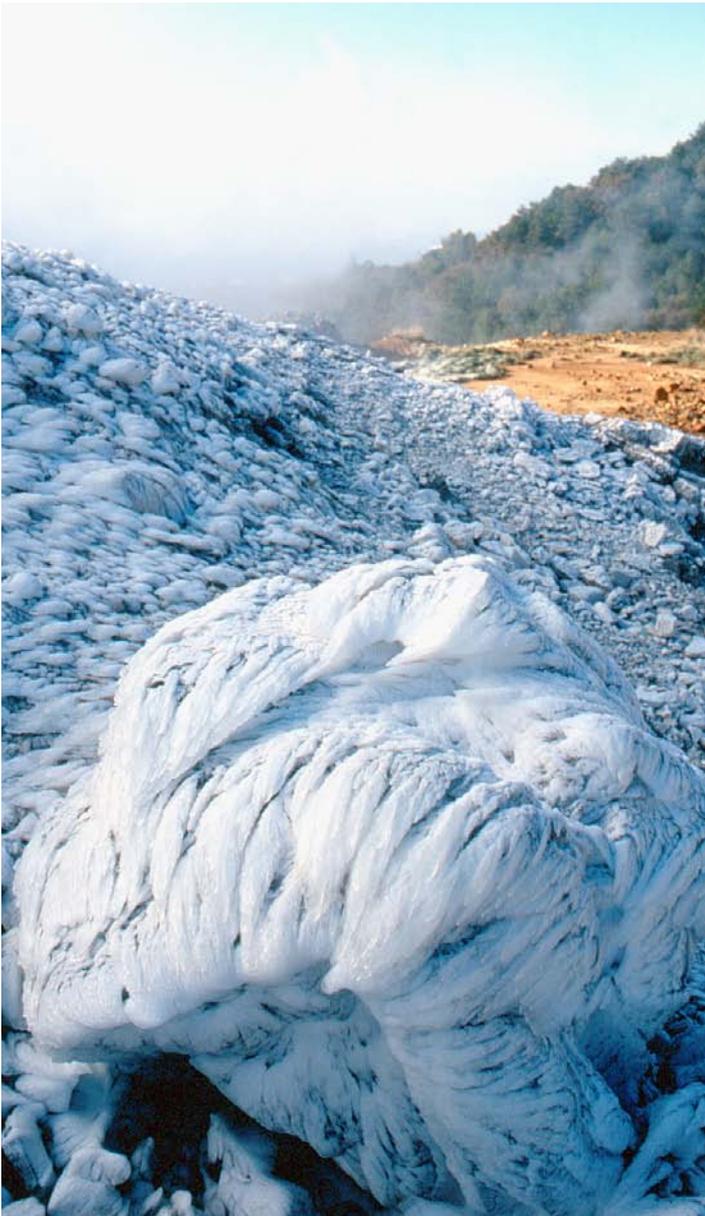
Gruppo fotografico “Il Graffio” - Follonica











## Schede naturalistiche

*Schede naturalistiche*



Raganella italiana, *Hyla intermedia*  
(Boulenger, 1882)  
Foto "Il Graffio", Follonica

# Risorse minerarie del Senese: giacimenti, miniere e cave ieri e oggi

Cesare Betti\*, Luca Caselli\*\*, Giancarlo Pagani\*\*\*

\* Gruppo Mineralogico Senese, c/o Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena  
cebetti@inwind.it

\*\* Studio Georicerche – Castelnuovo Berardenga (Siena), geo.ricerche@virgilio.it

\*\*\* Museo di Scienze della Terra, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena  
paganig@unisi.it

## Note storiche

Questo articolo, che si riconduce idealmente al libro di Ernesto Manasse intitolato *Le ricchezze minerarie del territorio Senese* (1914), vuole presentare un aggiornamento sulle risorse estrattive del medesimo territorio, nonché proporre un *excursus* storico sulle principali attività minerarie. Nel suo ambito sono prese in considerazione anche località toscane al di fuori della Provincia di Siena, poiché presentano con le altre una “continuità” di tipo geologico, geografico o storico.

Durante i primi anni del '900, nella miniera di cinabro del Cornacchino sul Monte Amiata, alla profondità di 30 metri, furono rinvenuti strumenti da scavo in legno di quercia che in seguito, datati con il metodo del radiocarbonio, sono risultati risalire a circa 5.000 anni fa. Tale ritrovamento, dunque, conferma che almeno alcuni giacimenti minerari di questo territorio erano già conosciuti in età molto antiche.

Nel periodo etrusco risultano attive sia le miniere di rame di Poggio Abbù, prossime all'insediamento di Murlo-Poggio Civitate, sia alcune miniere di cinabro del Monte Amiata, il cui minerale era utilizzato come colorante e cosmetico.

In epoca romana sono da segnalare le coltivazioni di marmi della Montagnola Senese, quelle di alabastro calcareo di Castelnuovo dell'Abate, nonché l'estrazione di cinabro amiatino (i Romani chiamavano il cinabro *minium*, non differenziandolo dall'equivalente ossido di piombo anch'esso colorante rosso).

Nel medioevo le attività minerarie sono da considerarsi modeste: infatti si ha notizia soltanto di estrazioni saltuarie di stibnite, cioè solfuro di antimonio, a Casal di Pari (minerale che veniva ridot-

to in polvere ed usato come colorante cosmetico nerastro, detto *stibium*) e di coltivazioni di mercurio (cinabro) ad opera dei conti Aldobrandeschi nelle zone del Siele e di Selvena sul Monte Amiata. Per contro, grande importanza assumono le cave della Montagnola (i cui marmi sono impiegati nella costruzione e decorazione delle cattedrali di Siena e di Orvieto, di molti palazzi senesi e di vari monumenti in tutta la Penisola), nonché quelle di serpentiniti di Murlo (usate anch'esse per la decorazione del duomo di Siena) e di alabastro calcareo di Castelnuovo dell'Abate (materiale impiegato, oltre che per la costruzione della vicina Abbazia di Sant'Antimo, per la decorazione dei duomi di Siena, Orvieto e Grosseto). Di rilievo anche l'attività metallurgica nelle numerose “ferriere” distribuite lungo il Fiume Merse e il Torrente Farma, resa possibile dalla disponibilità sia di acqua come forza motrice per i magli che di combustibile vegetale (legna e carbone di legna) per le fucine. In questi opifici lo scarso minerale locale (ematite e siderite) veniva lavorato insieme a quello di ottima qualità proveniente dalle Colline Metallifere (ossidati di ferro) e dall'Isola d'Elba (ematite); oltre che in ambito locale, il tutto veniva poi commercializzato attraverso un significativo traffico di materiale ferroso semilavorato verso il Nord Italia, il quale si esplicava lungo la valle del Fiume Elsa (via Francigena).

Il Rinascimento vede come unica attività mineraria quella di Lucerna nella Montagnola Senese, dove viene coltivato un giacimento di ematite per la produzione di ferro. Prosegue invece a ritmo intenso l'attività estrattiva del marmo nelle locali cave.

Durante il 1600 e per tutto il 1700 le attività estrattive sono da considerarsi ridotte e sporadiche

nonostante che, nella seconda metà del '700, insi-  
gni naturalisti come Giorgio Santi si interessino  
alla descrizione ed allo studio delle molteplici  
risorse minerarie del “territorio senese”.

Con il secolo XIX, a partire soprattutto dalla  
sua seconda metà, si assiste ad un formidabile  
incremento delle attività estrattive, legato alla  
grande richiesta di materie prime necessarie per la  
“rivoluzione industriale”. Intensa è l'attività di  
ricerca di nuovi giacimenti minerari e frequente  
l'apertura di nuove miniere, principalmente di  
lignite, combustibile indispensabile per il funzio-  
namento delle macchine a vapore. Vengono aperte  
miniere di mercurio nel Monte Amiata, di antimio-  
nio nei pressi di Chiusdino e di Casal di Pari, di  
manganese nella zona di Rapolano Terme, di rame  
nei pressi di Murlo, Civitella, Gambassi e San  
Gimignano, di ferro nei pressi di Lucerena.

L'inizio del XX secolo vede in primo piano la  
miniera di mercurio di Abbadia San Salvatore, che  
per produttività si attesta immediatamente ai verti-  
ci mondiali. Vengono aperte numerose nuove  
miniere: di magnesite presso Casole d'Elsa, di  
piombo presso Civitella e Chiusdino (dov'è colti-  
vata anche pirite), di caolino a Torriella presso  
Roccastrada, di zolfo presso Monteriggioni e di  
manganese a Camporsevoli alle pendici del Monte  
Cetona. È poi comprensibile che l'estrazione di  
minerali importanti per la fabbricazione di armi –  
quali mercurio, zolfo, antimonio e manganese –  
raggiunga alti picchi di produzione appunto in cor-  
rispondenza dei due conflitti mondiali e del perio-  
do di regime autarchico ad essi interposto. Dalla  
seconda metà del secolo, comunque, inizia il  
declino delle attività minerarie, non tanto per l'e-  
saurirsi dei giacimenti quanto soprattutto per gli  
elevati costi di gestione che rendono impossibile il  
mantenimento, sul mercato internazionale ed  
interno, di prezzi competitivi con quelli delle  
nascenti economie di molti Paesi extraeuropei,  
principalmente africani e sudamericani (Manasse,  
1914; Betti & Pagani, 2000).

Al giorno d'oggi nell'economia del Senese le  
attività estrattive ricoprono un ruolo relativamente  
marginale. Le uniche miniere ancora attive sono  
quella di caolino a Torriella, di tipo tradizionale,  
quelle di anidride carbonica nei pressi di Castel-  
nuovo Berardenga e di Rapolano Terme, e quelle  
di vapori endogeni per la produzione di energia  
elettrica, teleriscaldamento di abitazioni e attività  
industriali aperte nei dintorni di Radicondoli,  
Chiusdino e Piancastagnaio. Per quanto concerne

le cave di materiali per uso edilizio e industriale,  
ne sono attualmente in esercizio alcune di argilla  
per laterizi, di ghiaia, sabbia e pietrisco per con-  
glomerati cementizi e bituminosi, di gesso per  
malte ed altri manufatti, di calcare e brecce calca-  
ree per la produzione soprattutto del cosiddetto  
“stabilizzato”, materiale indispensabile per la  
pavimentazione delle numerosissime strade sterra-  
te che caratterizzano la provincia senese.

Tra le cave attive per materiali ornamentali,  
sono da menzionare in primo luogo quelle di  
marmo della Montagnola senese, alla cui storica  
attività estrattiva di blocchi – principalmente di  
“giallo Siena” e subordinatamente, per la sua rari-  
tà, di “broccatello” – si affianca da qualche anno  
una fiorente produzione di “granulati” gialli, bian-  
chi e grigi per la costruzione di pannelli da rivesti-  
mento edilizio. Devono comunque essere ricorda-  
te anche le cave di travertino di Rapolano Terme e  
di San Casciano dei Bagni, nonché alcune cave  
minori di argille ed argilliti per terrecotte e cerami-  
che.

Non si può trascurare di sottolineare la notevo-  
le importanza sociale ed economica rappresentata  
nel passato, per il nostro territorio, dall'attività  
nelle cave e nelle miniere. Tra la fine del XIX  
secolo e gli anni '60 del secolo scorso, tale attività  
ha dato impiego mediamente a 4.000-4.500 ope-  
rai, senza considerare il lavoro “indotto” dalla  
medesima. In alcune zone, prima fra tutte l'area  
del Monte Amiata, l'attività mineraria ha costitui-  
to per molti decenni il settore trainante dell'econo-  
mia locale.

Per concludere con altre cifre, si può affermare  
che dalla fine del XIX secolo ad oggi i giacimenti  
minerari e lapidei del territorio senese che sono  
stati coltivati o anche soltanto oggetto di ricerche e  
sondaggi, ammontano a circa 350, dei quali 200  
relativi a materiali minerari e 150 relativi a mate-  
riali lapidei. Attualmente le attività estrattive nel  
medesimo territorio risultano essere 43, delle quali  
34 relative a materiali per uso edilizio, industriale  
ed ornamentale e 9 per l'utilizzo di caolino, di  
vapori endogeni e di anidride carbonica.

## **Geologia e risorse minerarie del territorio senese**

Per parlare della geologia della Provincia di  
Siena è necessario addentrarsi nella complessa  
storia del corrugamento e formazione della catena

appenninica a partire dal Cretacico inferiore, con la chiusura dell'oceano ligure-piemontese, fino al Miocene quando, dopo la collisione continentale e la fine dell'orogenesi alpina, inizia in Toscana la "distensione" con la formazione dei primi bacini neogenici che troveranno la loro massima espressione nelle importanti trasgressioni marine mioplioceniche. Tali trasgressioni hanno originato imponenti successioni sedimentarie attraversate dai principali fiumi che scorrono in ampie valli alluvionali, spesso bordate da estesi terrazzi, che si raccordano gradatamente con le tipiche colline toscane: la Val d'Elsa, la Val d'Arbia e la Val d'Orcia. Queste colline, famose in tutto il mondo come "Crete Senesi", sono caratterizzate da "calanchi", "biancane" e "balze", a seconda di come le rocce affioranti interagiscono con l'ambiente e di come gli agenti atmosferici le modellano.

Le rocce più antiche della provincia si trovano, in affioramento, nella parte della Dorsale Medio Toscana che si estende dal torrente Farma a S. Gimignano, passando per la Montagnola Senese. Sono costituite da rocce carbonatico-argilloso-silicee di età mesozoica e paleozoica; queste ultime portano tracce deformative delle orogenesi ercinica e alpina.

Nella seconda metà dell'era Cenozoica ebbe inizio, lungo la fascia tirrenica della Penisola, una estesa attività vulcanica che interessò direttamente la Toscana e il Lazio. I fenomeni, connessi con la genesi, la messa in posto e il consolidamento dei magmi, agirono dapprima sull'Isola d'Elba, quindi su Gavorrano, Larderello, Roccastrada e, successivamente, sul Monte Amiata e Radicofani. I vulcani, ormai spenti, del Monte Amiata e di Radicofani fanno parte della "Provincia anatettica toscana" anche se, per la loro variabilità, devono essere considerati ibridi in quanto le rocce che li caratterizzano derivano dalla interazione di magmi anatettici crostali e magmi basici subcrostali. Questa variabilità è legata alle interazioni tra lo scivolamento della placca del Mar Adriatico sotto quella del Tirreno (subduzione) e la distensione post-colisionale neogenica.

**LE ROCCE MAGMATICHE** – L'intensa attività magmatica nella Toscana meridionale ha prodotto, oltre ad estese formazioni di rocce magmatiche effusive, una significativa circolazione di fluidi idrotermali che ha interessato, localmente, le rocce di superficie; in molti casi ha dato luogo ad estesi affioramenti di travertino e di alabastro calcareo e diffuse sorgive di acque termali e gas, sfruttate attivamente per bagni e cure, in altri ha prodotto un'intensa silicizzazione e mineralizzazione in corrispondenza di aree intensamente fratturate.

Nella parte Sud (Monte Amiata) e Sud-Ovest (Radicondoli e Chiusdino) del territorio, in zone dove la copertura impermeabile delle argille è cospicua, l'attività magmatica profonda ha originato grandi depositi di vapori endogeni in pressione, detti "campi geotermici", utilizzati da anni per la produzione di energia elettrica e teleriscaldamento di abitazioni e serre industriali per floricoltura.

Nei pressi di Poggio Santa Cecilia a Rapolano Terme e nella zona tra Castelnuovo Berardenga e Ambra (AR), sono attivamente coltivati due depositi di gas anidride carbonica.

Sempre legati all'idrotermalismo derivato dalla messa in posto delle vulcaniti amiatine troviamo giacimenti di minerali metalliferi di rilevante importanza economica; tra questi giacimenti i più importanti sono senza dubbio quelli di mercurio (cinabro). Tale mineralizzazione trova sede di preferenza nei livelli calcareo-marnosi, nelle arenarie ed anche nelle radiolariti al contatto con le rocce vulcaniche. Si tratta di giacimenti noti fin dall'antichità che hanno rappresentato una risorsa mineraria di primaria importanza: infatti, insieme ai giacimenti spagnoli di Almaden, hanno coperto oltre il 50% del fabbisogno di mercurio del mercato mondiale.

Le rocce magmatiche sono presenti solo nella parte Sud e Sud-Ovest del territorio senese e sono costituite prevalentemente da "trachiti". In varie zone affiorano relitti dei fondali degli antichi oceani liguri, consistenti in ammassi più o meno estesi di rocce ofiolitiche (serpentiniti e gabbri) attraversate localmente da sporadici filoni di basalto e diabase, talora in facies di *lave pillows* come, ad esempio, nell'area di Murlo dove si osservano, nei pressi della Torre di Crevole, anche delle facies a "sferuliti", caratterizzate dalla presenza di diffusi noduli sferici di ossidiana.

Nelle rocce ofiolitiche osserviamo non solo giacimenti di rame (calcopirite e rame nativo), ma anche magnesite e, sporadicamente, zinco (sfalerite). Le serpentiniti sono state oggetto, nel passato, di sfruttamento anche come roccia ornamentale, usata, ad esempio, per decorare il Duomo di Siena (Repetti, 1833).

Nelle rocce magmatiche effusive alterate sono presenti sia giacimenti di caolino (Monte Alto – Torniella), ancora oggi in coltivazione, sia altri, ormai abbandonati come quelli storici di terre bolari e farina fossile (Monte Amiata).

**LE ROCCE SEDIMENTARIE** – Il territorio senese è costituito principalmente da affioramenti di queste rocce, rappresentate da calcari, calcareniti, arenarie, diaspri, argilliti, sabbie, argille plasti-

che, conglomerati e brecce calcaree. In esse sono ospitati giacimenti di vari minerali, come zolfo, gesso, pirolusite-wad, barite, nonché di rocce industriali e ornamentali, come alabastro gessoso, alabastro calcareo, argille, argilliti, sabbie, ghiaie, brecce calcaree e diaspri. Sono presenti inoltre tracce significative o veri e propri giacimenti di combustibili fossili: lignite, metano, petrolio.

Tra le rocce sedimentarie di origine chimica abbondano i travertini, diffusi soprattutto nella zona di Colle di Val d'Elsa a Nord e Rapolano Terme e San Casciano dei Bagni a Sud; sono altresì diffusi sul territorio innumerevoli altri affioramenti in corrispondenza delle sorgive di acque termali attive e fossili. Sono presenti anche svariate emanazioni gassose, costituite principalmente da anidride carbonica, idrogeno solforato ed altri gas minori, associate alle sorgenti di acque termali o in corrispondenza delle cosiddette "putizze", zone dove si evidenziano solo emissioni di gas, senza altri fenomeni visibili in superficie.

Numerose cave di travertino caratterizzano questi affioramenti: alcune, ancora attive, sono presenti soprattutto nella zona di Rapolano Terme e San Casciano dei Bagni.

Tra le rocce organogene (originarie dalla deposizione di vegetali e scheletri silicei o carbonatici di organismi viventi) troviamo calcari, calcari dolomitici, radiolariti. Nei terreni neogenici, sono diffusi i giacimenti di lignite di tipo xiloide o picea, a seconda del contenuto di umidità e dell'aspetto. È definita "xiloide" la lignite che presenta un contenuto del 40-70% di umidità; in questa, generalmente, è riconoscibile la specie vegetale di origine. Viene invece definita "picea" quando contiene il 20-25% di umidità; presenta colorazione nerastra, simile a quella della pece. La lignite picea possiede un potere calorifico decisamente superiore a quella xiloide.

Da segnalare, tra le risorse di origine organogene, alcune sporadiche manifestazioni di gas metano e petrolio che, non solo in passato ma anche in tempi recenti, hanno stimolato propositi di ricerca mai sfociati però in decise attività di esplorazione, né a tutt'oggi di sfruttamento.

**LE ROCCE METAMORFICHE** – Affiorano soprattutto nella zona centro-occidentale, fino al Sud-Ovest della Provincia, e sono rappresentate da marmi, calcari silicizzati (jasperoid), metarenarie, metaconglomerati, quarziti e scisti.

In queste rocce sono presenti piccoli ma diffusi filoncelli di quarzo, spesso mineralizzati a minerali metalliferi: *ferro* (ematite, siderite, pirite) frequentemente alterati nei corrispondenti ossidi

idrati: limonite e goethite; *antimonio* (stibnite) e *oro*, nei calcari silicizzati (jasperoid); *mercurio* (cinabro), *arsenico* (arsenopirite) e *rame* (calcopirite) nelle metarenarie e quarziti del Verrucano; *piombo* (galena), *rame* (calcopirite) e *zinco* (sfalerite) nei calcari di S. Antonio; *titanio* (rutilo e anatasio) e *ferro* (pirite ed ematite) nei marmi della Montagnola Senese, ma non sempre associati a filoni di quarzo.

## **Attività estrattive storiche – le miniere**

### *MERCURIO*

Situate sulle pendici del Monte Amiata, le miniere di Abbadia S. Salvatore, Solforate-Siele, Abetina, Pietrineri-Bagni S. Filippo e Morone-Dainelli costituivano il principale polo mercurifero del mondo, con produzione media, negli anni Quaranta-Cinquanta del secolo scorso, di circa 1.700 tonnellate di metallo (ben un quarto della produzione mondiale!), dando lavoro a 1.400/1.800 addetti. Il valore del mercurio prodotto nel 1955 fu di 8 miliardi di lire (circa 100 milioni di euro) (Rel. Serv. Min., 1939-1960; Grill, 1963; Istat, 2006).

I due terzi della produzione provenivano dalla miniera di *Abbadia S. Salvatore*, attiva dal 1897 al 1983 che, con una produzione di 1.000/1.400 tonnellate annue di metallo, era all'epoca, insieme ad Almaden, in Spagna, la più importante miniera di mercurio del mondo e dava occupazione a circa 1.000 addetti (Segreto, 1991; Riv. Serv. Min., 1897-1922; Rel. Serv. Min., 1923-1982).

Altra miniera di notevole importanza era quella di *Solforate-Siele* nel comune di Piancastagnaio. Raggiunse la produzione di 500/600 tonnellate annue di mercurio con circa 500 operai, compresi gli addetti ai forni dell'impianto Siele. Il giacimento del Siele, già conosciuto e sfruttato sia in epoca etrusca che medievale, fu messo in coltivazione nel 1849 e rimase in attività sino al 1977. (Riv. Serv. Min., 1880-1922; Rel. Serv. Min., 1924-1982).

La miniera *Abetina* (Piancastagnaio), in attività dal 1918 al 1967, produceva circa 100 tonnellate di mercurio all'anno, con un picco di 150 tonnellate registrato nel 1956, impiegando circa 100 operai (Riv. Serv. Min., 1918-1922; Rel. Serv. Min., 1923-1967).

La miniera *Morone-Dainelli* (Selvena), attiva dal 1908 al 1983, produceva 110/150 tonnellate

annue di mercurio, con circa 100 operai. I giacimenti di Selvena furono coltivati nel Medioevo dagli Aldobrandeschi anche per l'estrazione di vetriolo (solfato di ferro) di "buonissima qualità" (Vicarelli, 1977) e, solo saltuariamente, nei secoli XVI, XVIII e XIX (AA.VV., 1971; Riv. Serv. Min., 1906-1922; Rel. Serv. Min., 1923-1982).

La miniera *Pietrineri-Bagni S. Filippo*, nei pressi di Castiglione d'Orcia, in attività dal 1902 al 1979, aveva una produzione più modesta, sulle 50/60 tonnellate annue di mercurio (Riv. Serv. Min., 1903-1919; Rel. Serv. Min., 1927-1976).

La miniera del *Cornacchino* (Castell'Azzara), in cui la mineralizzazione a cinabro era presente sia nei calcari che nei diaspri, rimase in attività dal 1879 al 1930 (Riv. Serv. Min. 1880-1922; Rel. Serv. Min. 1928-1930)

Tra le miniere di minore importanza sono da ricordare: *Casa di Paolo*, *Renaioli*, *Senna*, *Alveo Fosso Siele*, *miniera dei Cesari*, tutte in Comune di Piancastagnaio.

Il cinabro estratto dalle miniere amiatine si presentava in forma microcristallina o in croste concrezionate; caratteristici gli aggregati di microcristalli, detti "fragole" dai minatori per la loro tipica morfologia simile al frutto di bosco. I principali minerali che accompagnavano il cinabro in questi giacimenti erano: marcasite, metacinnabarite, stibnite, calcite, dawsonite, dolomite, pirite, quarzo, celestina e millerite.

#### ANTIMONIO

*Cetine di Cotorniano* (Chiusdino) (Fig. 1), fu la più rilevante. Dal 1879 al 1948 ebbe una produzione complessiva di circa 3.750 tonnellate di antimonio. Nel primo periodo di attività, dal 1879 al 1906, dette una produzione di circa 2.000 tonnellate di metallo; nel periodo dal 1915 al 1918 produsse 550 tonnellate di antimonio e nel periodo dal 1937 al 1944 circa 1.200 tonnellate. Gli operai addetti variavano dalle 70 alle 100 unità (Riv. Serv. Min., 1880-1907; Rel. Serv. Min., 1937-1949). La miniera di Cetine di Cotorniano è famosa per l'eccezionale numero di specie minerali rinvenute (oltre sessanta diverse, sei delle quali rico-



Fig. 1 - Cetine di Cotorniano (Chiusdino). Ingresso al "livello Bice" dell'inattiva miniera di antimonio.

nosciute per la prima volta al mondo proprio in questo giacimento: cetineite, brizziite, onoratoite, rosenbergite, clinocervantite, rosiaite).

*Selva o Casal di Pari* (Civitella), attiva dal 1870 al 1921, con produzione complessiva di circa 1.000 tonnellate di antimonio (Riv. Serv. Min., 1880-1920; AA.VV., 1971).

Il principale minerale oggetto di coltivazione in queste miniere era la stibnite, subordinatamente venivano estratte anche stibiconite e valentinite.

#### FERRO

*Podere La Senese-Lucerena* (Casole d'Elsa), giacimento conosciuto e coltivato fin dal XV secolo; altri lavori vennero eseguiti nella prima metà del XIX secolo. Dal 1939 al 1955 furono estratte alcune centinaia di tonnellate di minerale ferifero (Rel. Serv. Min., 1939-1953). I minerali utili erano: ematite accompagnata da abbondante siderite.

#### MAGNESITE

*Querceto* (Casole d'Elsa), importante miniera, in attività dal 1917 al 1954, con produzioni medie (precisamente alla fine degli anni Trenta) di circa 10.000 tonnellate annue (Riv. Serv. Min., 1917-1922; Rel. Serv. Min., 1923-1954). Da Querceto proveniva la migliore magnesite toscana impiegata per la produzione di materiali refrattari. Il minerale si presentava prevalentemente in masse compatte, molto dure e tenaci, di aspetto "porcellanoidale", detto così per la colorazione bianca omogenea e la netta ed evidente frattura concoide; frequenti anche le formazioni concrezionate botrioidali

(magnesite “pisolitica”). Abbondante come minerale di ganga l’opale, in noduli spesso traslucidi, con colore variabile dal bianco-beige al giallo-verdastro (Betti & Pagani, 2000-II).

#### MANGANESE

*Rapolano-Modanella*, miniera comprendente 5 cantieri (Monte Martino, Selva, Podere di Sotto, Poggio S. Cecilia e Podere Buoninsegna) con una produzione complessiva, nel periodo dal 1873 al 1946, di circa 50.000 tonnellate di minerali manganeseiferi. Dal 1873 al 1879 si produssero circa 15.000 tonnellate, mentre nel periodo della prima guerra mondiale la produzione fu di circa 20.000 tonnellate; un’attività più limitata venne ripresa nel periodo autarchico e continuò fino al termine della seconda guerra mondiale. I minerali coltivati erano: pirolusite (masse compatte, aggregati raggruppati, nonché, più raramente, cristalli prismatici) e wad (masse terrose nerastre). Da segnalare anche la presenza di evidenti tracce di minerali cupriferi (malachite, azzurrite, bornite, calcopirite, rame nativo) e ferriferi (goethite, in aggregati botrioidali bruni) (Edlmann, 1920; Riv. Serv. Min., 1915-1918; Rel. Serv. Min., 1937-1947).

*Camporsevoli* (S. Casciano dei Bagni), attiva nel periodo dal 1940 al 1956, ebbe una produzione complessiva di circa 24.000 tonnellate di minerale. I minerali coltivati erano: braunite, pirolusite e wad. (Rel. Serv. Min., 1938-1957)

*Fosso della Chiesa* (Murlo), con produzione complessiva di 6.000 tonnellate di minerale nel periodo dal 1948 al 1952. I minerali coltivati erano: braunite, pirolusite e psilomelano. Da segnalare, in questa miniera, la presenza abbondante di rodocrosite, carbonato di manganese dalla caratteristica colorazione rosa (Rel. Serv. Min., 1948-1957; Meli, 1999).

Giacimenti di minore entità furono coltivati nelle località: I Poggi, Vallerano e Poggio Abbù, tutti nel comune di Murlo, in cui il minerale estratto era costituito da pirolusite.

#### PIOMBO

*S. Antonio* di Casal di Pari (Civitella Marittima), in attività dal 1900 al 1954. Il minerale coltivato era la galena, presente in grosse masse spatriche entro la roccia. Nel calcare in cui era ospitato il giacimento erano frequenti le cavità carsiche dal cui fondo, durante i lavori minerari, venivano estratti grossi ammassi di galena arrotondati dal-

l’erosione operata dalle acque, detti dai minatori “patate”. Tra gli altri minerali, da segnalare: sfalerite, quarzo, aragonite e dolomite. (Riv. Serv. Min., 1899-1906; Rel. Serv. Min., 1924-1955; Betti *et al.*, 2003).

*Camporedaldi* (Chiusdino), conosciuta e saltuariamente coltivata fin dal XVIII secolo, fu attiva (nel XX secolo, per l’estrazione di piombo) dal 1909 al 1915. Il minerale coltivato era la galena. Tra i minerali secondari: celestina (molto abbondante come ganga) e minio, segnalato come rarità.

#### PIRITE

*Camporedaldi* (Chiusdino), attiva per l’estrazione di pirite dal 1930 al 1940. Il minerale utile era costituito da masse microcristalline di pirite, spesso associate a marcasite in forme stalattitiche, accompagnate da abbondante ganga di celestina.

#### RAME

*Poggio Abbù* (Murlo), conosciuta fin dall’epoca etrusca, fu attiva nel periodo dal 1940 al 1944, con una produzione di poche centinaia di tonnellate di calcopirite. Dal 1952 al 1958 furono estratte 50 tonnellate di minerale, impiegando mediamente 10 operai. Il minerale coltivato era la calcopirite. Altri minerali presenti: sfalerite, pirite, cuprite, bornite e covellite.

*Vallerano* (Murlo), coltivata dapprima alla fine del XIX secolo, quando furono estratte 42 tonnellate di minerale con impiego di 21 operai; poi nuovamente in attività dal 1940 al 1943 e dal 1951 al 1958. I minerali coltivati erano: calcopirite, covellite e bornite.

*Monte Acuto - Fosso Cetinacce* (Civitella Marittima), saltuariamente coltivata nel XVIII e XIX secolo. Le attività ripresero agli inizi del Novecento e negli anni Venti; altri scavi vennero eseguiti negli anni Quaranta e alla metà degli anni Cinquanta. Il minerale principale era rame nativo quasi sempre associato a cuprite e digenite-calcocite. Altri minerali presenti: malachite ed azzurrite.

*Cetine di Camporbiano* (Gambassi), coltivata con buoni risultati produttivi dal 1880 al 1885. L’attività fu ripresa nel 1950 e proseguì fino al 1955 con estrazione di circa 40 tonnellate di minerale cuprifero. I minerali coltivati erano: bornite e calcopirite. Tra i minerali secondari: azzurrite e malachite.

*Migliarino e Forra* (S. Gimignano), coltivazioni

attive alla fine del XIX secolo, da cui furono estratte poche tonnellate di minerale impiegando 25 operai.

*Botro Acqua Calda* (S. Gimignano), coltivata saltuariamente nel XIX secolo, con scarsi risultati produttivi (Riv. Serv. Min., 1880 - 1922; Rel. Serv. Min., 1923-1955; Betti & Pagani, 2000).

### ZOLFO

*Lornano-Poggio Orlando* (Monteriggioni), è stata una delle principali miniere di zolfo del centro Italia; attiva dal 1899 al 1940 con produzioni massime, tra il 1910 ed il 1920, di circa 1.000 tonnellate annue di zolfo, con un impiego di 70/100 operai. Lo zolfo, oltre che in masse e formazioni granulari, poteva presentarsi anche in grossi cristalli bipiramidali, talmente ben formati da meritare di essere presenti nei principali musei italiani (Riv. Serv. Min., 1899-1921; Rel. Serv. Min., 1937-1944).

Giacimenti meno importanti furono coltivati sporadicamente nel XIX e XX secolo per usi locali e con modeste produzioni. Tra questi *Aiola* e *Bottaccio* nel Comune di Castelnuovo Berardenga. In queste località lo zolfo era presente solo in *croste* terrose o microcristalline. È stata coltivata sporadicamente per l'estrazione di zolfo anche la miniera di *Cetine di Cotorniano* (Chiusdino) dove durante i lavori di avanzamento per l'estrazione dell'antimonio, se ne rinvenivano grossi accumuli.

### CAOLINO

*Torniella-Piloni* (Roccastrada), miniera a cielo aperto attiva dal 1907 al 1958, con produzioni annue di circa 7.000 tonnellate. Dal 1980 venne ripresa una modesta e saltuaria attività estrattiva continuata poi, più intensivamente da pochi anni a questa parte, da una grossa azienda del settore ceramico (Riv. Serv. Min., 1907-1922; Rel. Serv. Min., 1923-1958, 1980). Il minerale ha consistenza generalmente terrosa, anche se talvolta è un po' più compatto e "porcellanoide"; risulta composto da caolinite, halloysite e residui della roccia eruttiva da cui deriva per alterazione idrotermale, soprattutto quarzo.

### LIGNITE

La lignite ha rappresentato per decenni, per il



Fig. 2 - L'inattiva miniera di lignite a Velona (Montalcino). Ingresso della discenderia, recentemente bonificato dai detriti.

nostro Paese pressoché privo di giacimenti di carbone, una risorsa energetica importante e soprattutto disponibile sul territorio, anche se in giacimenti di piccola estensione; il suo sfruttamento è stato principalmente legato fino agli anni '50 alle industrie dei laterizi e delle calce, anch'esse capillarmente diffuse sul territorio con numerose fornaci.

Le principali miniere in attività dalla fine del secolo XIX fino agli anni Sessanta del secolo scorso erano:

*Lilliano-Campalli* (Castellina in Chianti), in attività dal 1887 al 1963. Vi lavoravano mediamente 370 minatori, con produzioni annue di circa 30.000 tonnellate di lignite.

*Murlo*, attiva, con alterne vicende, dal 1830 al 1948; per il trasporto della lignite furono impiantati 24 chilometri di ferrovia da Murlo a Monte Antico. Gli addetti erano mediamente 290 e le produzioni annue, negli anni Quaranta del XX secolo, superavano le 20.000 tonnellate di minerale.

*Montefollonico-Renellone* (Torrita di Siena), in esercizio dal 1887 al 1962. La lignite estratta era in massima parte impiegata per alimentare i forni di alcune importanti industrie di laterizi situate nei comuni di Torrita e Sinalunga. Negli anni Trenta e Quaranta del XX secolo, mediamente vi lavoravano 280 minatori, con produzioni annue di circa 30.000 tonnellate di lignite.

*Montelifré* (S. Giovanni d'Asso), miniera attiva dal 1916 al 1956. Negli anni Quaranta del secolo scorso vi lavoravano circa 380 operai, con produzioni annue di oltre 30.000 tonnellate di minerale.

*Strozzavolpi-Mazzini* (Pienza), in attività dal

1911 fino al 1957. Vi veniva coltivato un banco di lignite picea di buona qualità, con potenza da 50 a 140 centimetri.

*Casino e Gardina* (Monteriggioni), la miniera del Casino fu coltivata a partire dal 1868, fino al 1889; gli addetti erano circa 50 e la produzione di lignite non superava le 2.000 tonnellate annue. La miniera di Gardina iniziò l'attività nel 1888; nel 1907 si ha notizia che la lignite estratta veniva in massima parte utilizzata per alimentare i forni per la raffinazione dello zolfo nella vicina miniera di Lornano-Poggio Orlando.

*Velona* (Montalcino) (Fig. 2), i lavori d'estrazione furono avviati nel 1870 e cessarono nel decennio successivo. La lignite estratta, di ottima qualità, era utilizzata principalmente come combustibile per le navi postali a vapore.

Negli anni Quaranta del XX secolo la produzione di tutte le miniere di lignite della provincia di Siena si aggirava sulle 130.000 tonnellate annue e la complessiva forza-lavoro era di circa 1.500 operai (Riv. Serv. Min., 1885-1922; Rel. Serv. Min, 1923-1964; Tarsitano, 1989-1990; Betti & Pagani, 2000).

### **Località minerarie in cui sono stati effettuati saggi senza procedere a coltivazioni**

*RAME* - In corrispondenza dei diffusi affioramenti di rocce verdi troviamo sporadici giacimenti di rame dove sono stati effettuati saggi, trincee e ricerche, anche approfondite, ma senza dare luogo a vere coltivazioni minerarie: è il caso di *Selva Scura* (Murlo), *Rencine* (Monteriggioni), *Oppiano* (Torrita di Siena), *Podere il Santo* (Monticiano), *Pari* (Civitella Marittima), *Docciolo* (Monticiano), *Greppa Bernazza* (Monticiano), *Botro Giannetto* (Civitella Marittima).

*ANTIMONIO* - *Poggio Fogari* (Chiusdino), *Tocchi* (Monticiano).

*CAOLINO* - *Ancaiano* (Sovicille), *Poggio Castellare* (Montalcino).

*PIOMBO* - *Podere Romitorio* (San Gimignano).

*FERRO* - *Bagni delle Gallerie* (Radicondoli), *Scalvaia* (Monticiano), *Stine* (Monteroni d'Arbia).

*MANGANESE* - *Stine* (Monteroni d'Arbia), *Montemuro* (Radda in Chianti), *Simignano e Radi di Montagna* (Sovicille), *Poggio al Vento*

(Murlo), *Poggio Doria* (Montalcino), *Poggio Salvi-Marrucca* (Montalcino), *Le Poggiarelle* (Torrita di Siena), *Buonriposo* (San Gimignano), *Gaiole* (Gaiole in Chianti), *Torrente Astrone* (Chianciano Terme).

*MERCURIO* - *Poggio alle Buche* (Monticiano), *Casale* (Civitella Marittima), *Nibbio* (Piancastagnaio), *Carpineto*, *Ricerca Tansini*, *Rondinaio*, *Piaggioni*, *Campo la Villa* (Castiglione d'Orcia), *Cipriana* (Abbadia San Salvatore), *Cerrone*, *Salto del Lupo*, *Indovina*, *Costoloni*, *Poggio della Volpe* (Piancastagnaio).

*PIRITE* - *Poggio Montecchi* (Chiusdino), *Quarciglione* (Monticiano), *Fosso del Cervaiolo* (Roccastrada), *Scalvaia* (Monticiano).

*MARCASITE* - *Fossi Lunghi* (Roccastrada).

*TALCO* - Da segnalare: a *Vallerano* (Murlo), un filone decimetrico, mai coltivato, che taglia in direzione NW-SE il Fosso Pietracupa; nei pressi di *Monte Pertuso* (Buonconvento) una modesta attività di coltivazione; a *Poggio Bonaria* (Castiglione d'Orcia) furono scavate alcune trincee che misero in luce delle vene di talco di scarso interesse (Rel. Serv. Min., 1953).

*LITANTRACE* - *Podere Love* (Casole d'Elsa).

*LIGNITE* - *Podere delle Pietre* (Staggia-Poggibonsi), *San Gimignano* (San Gimignano), *Sietina*, *Cignan Bianco*, *Cignan Rosso*, *Gaggiola*, *Fizzano*, *Leccia*, *Monteo*, *S. Antimo* (Castellina in Chianti), *Mensanello*, *Strove*, *Petraglia*, *Castellina Stazione* (Monteriggioni), *Mulignone*, *Monteguidi* (Casole d'Elsa), *Montingegnoli* (Radicondoli), *San Giusto a Bornia-Nebbiano*, *Montegalozzi* (Gaiole in Chianti), *Geggiano*, *Palazzetto*, *Pian del Lago*, *Solaia*, *Querciola*, *Bozzone*, *Belcaro* (Siena), *Sala*, *Bossi*, *San Piero*, *Corbina*, *Sestano* (Castelnuovo Berardenga), *Pietramonti*, *Mugnano* (Monteroni d'Arbia), *Montalcinello*, *Spannocchia*, *Palazzetto* (Chiusdino), *Villa dei Boschi* (Rapolano), *Chiusone* (Buonconvento), *Castelletto* (Sinalunga), *Fognano*, *San Bartolomeo*, *Aiola*, *Mortiena*, *Poggiano*, *Sant'Albino*, *San Selvaggio*, *Pescaia San Biagio* (Montepulciano), *Petroio*, *Casino Petroio*, *Sicille*, *Villa Salimbeni*, *Renello*, *Palazzina*, *Misericordia*, *Tena*, *Smiraglio* (Trequanda), *Podere Bellaria*, *Capaccio*, *Torrente Tuoma*, *Monticchiello*, *San Regolo*, *Pietrafitta*, *Palazzo Massaini*, *Pietramonti* (Pienza), *Celamonti*, *Bellaria*, *Castelnuovo dell'Abate*, *Villa Prata* (Montalcino), *Vellora*, *Collolungo* (Castiglione d'Orcia).

*IDROCARBURI* (metano e petrolio) - *Ascia-*



Fig. 3 - Veduta panoramica delle cave storiche inattive del marmo "Giallo Siena" di Montarrenti (Montagnola Senese).



Fig. 4 - Cava attiva di marmo "Giallo Siena" denominata CANCELLO DEL PRETE nei pressi di Palazzo al Piano (Montagnola Senese).

no: "Ad Asciano in provincia di Siena, ivi presso, parimenti dalle argille plioceniche, usciva un getto continuo di metano. Credendo che fosse in rapporto con qualche falda di petrolio furono fatti dei pozzi profondi, ma non fu trovato nulla ed il lavoro fu abbandonato" (De Stefani, 1926). *Montarrenti* (Siena): "...nel costruire la galleria per la strada ferrata, presso l'imbocco Nord (Siena) fu incontrato un getto di gas che attraversava le sabbie plioceniche. Opportunamente catturato ed acceso esso serve di perpetuo segnale presso all'imbocco" (De Stefani, 1926). Nei pressi del *Podere Pantano* (Radicofani), la Società AGIP condusse nel 1970 un sondaggio per la ricerca di

petrolio, denominato "Radicofani 1" che, attraversando una spessa coltre sedimentaria costituita soprattutto da argille e poche sabbie, raggiunse la profondità di metri 2.011,50, ma anche in questo caso senza trovare livelli produttivi. *Podere Salcio* (San Quirico d'Orcia): nelle incisioni del Torrente Tuoma si osservano stratificazioni plioceniche che emanano forti odori di idrocarburi, alternate a lignite torbosa (Relazione T267 archivio RIMIN, Regione Toscana). Dalla stessa località, prima del '900, sembra si ricavassero oli usati a scopo medicinale. Campioni di questa "roccia petrolifera" furono inviati dalla Camera di Commercio di Siena all'Esposizione Universale di Parigi del 1900. Nel periodo autarchico nuovi interessi furono rivolti a questo giacimento mediante la trivellazione di pozzi e indagini geofisiche, che però non portarono ai risultati attesi, con conseguente completo abbandono dei lavori. Attualmente una multinazionale petrolifera è interessata a ricerche per idrocarburi in questa zona.

*ORO* - Nel secolo scorso sono state condotte svariate ricerche per oro in Toscana Meridionale: fino al 1992 furono svolte dalla Società ENI, tra il 1996 e il 2004 la stessa ENI, in joint venture con la Società Etruscan Gold Exploration e la Italian Gold Fields Ltd., acquisirono numerosi permessi di ricerca seguendo le tracce delineate precedentemente dall'ENI stessa. Tra il 2005 e il 2007 la società canadese di ricerche minerarie Adroit Resources ha acquisito dei permessi di ricerca per oro ed effettuato dei saggi per individuare giacimenti sfruttabili del cosiddetto "oro invisibile" (*micro-gold*) nelle rocce silicizzate (*jasperoid*) presenti nell'area mineraria delle Cetine di Cotorniano, in località I Monti e a Poggio Fogari (Chiusdino). Nei saggi l'oro è stato trovato disperso nella roccia in quantità interessanti, ma a tutt'oggi questo non ha dato seguito ad attività estrattive.

## Attività estrattive storiche - le cave

**MARMO** – *Montagnola Senese* (Sovicille - Casole d'Elsa), da queste cave veniva estratto il celebre marmo “Giallo Siena”. A causa della presenza di numerosissime fratture e cavità carsiche, la produzione di blocchi di dimensioni commerciabili per l'uso ornamentale è sempre stata molto limitata, contro una richiesta rilevante di questo marmo dal colore unico al mondo. Per la produzione di “blocchi” da taglio, nel 1969 erano in piena attività 9 cave con circa 14.000 tonnellate di marmo estratto e 73 operai impiegati. Nel 1978 risultavano in piena attività 4 cave con una produzione di circa 33.000 tonnellate di marmo e 19 operai.

Per ciò che riguarda il “pezzame”, nel 1969 erano in attività 27 cave con una produzione di circa 167.000 tonnellate di marmo e 170 operai addetti. Nel 1978 risultavano in attività solo 8 cave con una produzione di circa 165.000 tonnellate di marmo e un impiego di 42 operai (Micheluccini *et al.*, 1981) (Figg. 3-4).

Nelle cavità carsiche e nelle litoclasti dei marmi della Montagnola sono stati individuati numerosi minerali di interesse sistematico. I più significativi sono: rutilo, anatasio, pirite, calcite, quarzo, aragonite, dolomite, malachite.

**CALCARE PER INERTI** – Le principali cave, tuttora attive, sono tre: *Val di Merse* (Monteriggioni), dove si segnala la presenza di quarzo varietà “morione”; *Madonnino dei Monti* (Trequanda), dove è stata trovata marcasite associata a goethite-limonite; *S. Alberto* (Asciano), oggi abbandonata, nei cantieri inferiori della quale si segnalano azzurrite, malachite e allofane.

**CALCARE PER CALCE E CEMENTO** – Le rocce calcaree sono relativamente abbondanti in tutta la provincia, dando luogo ad affioramenti di discreta potenza ed estensione. Di questi calcari, quelli privi di silice venivano utilizzati localmente, avviando così piccole o piccolissime attività per la produzione di calce mediante arrostitimento in forni, spesso rudimentali, alimentati generalmente con legna di bosco o con lignite estratta dalle numerose miniere diffuse sul territorio.

Tra le tante piccole imprese di escavazione e produzione di calce, nel 1880 circa ne emerse una di dimensioni industriali – unico esempio nella nostra provincia – che continuò l'attività fino al 1940: la *Miniera lignitifera di Murlo*. Infatti, esistendo nella concessione dell'ottima

pietra calcarea, la direzione della miniera intraprese la costruzione di alcuni forni e di un mulino per la produzione di calce e, successivamente, di cemento grazie anche alla disponibilità propria di combustibile per i forni. La quasi totalità della produzione veniva inviata via ferrovia a Roma, dove la calce era particolarmente apprezzata. Addirittura, intorno al 1890, quando entrò in crisi l'attività di scavo della lignite, il gestore della miniera, la “Società Generale per l'Industria delle Ligniti”, con sede a Roma, mandò avanti esclusivamente la produzione di calce, che si era rivelata sempre molto redditizia, usando come combustibile per i forni la lignite acquistata dalla miniera di Ribolla, allora già in piena attività. (Betti Carboncini, 2002)

**ALABASTRO CALCAREO** – *Castelnuovo dell'Abate* (Montalcino), cava sfruttata in epoca romana e nel medioevo, fu riattivata agli inizi del Novecento e rimase in produzione fino al 1992. Nel 1955 produsse 130 tonnellate di alabastro calcareo (Rel. Serv. Min. 1955).

**GESSO** – *Camporbiano-Case Treschi* (Gambassi), aperta nel 1832 e tuttora in attività. *Cavalano* (Casole d'Elsa), dove sono presenti numerose escavazioni, attualmente abbandonate. *Fontazzi* (Murlo), abbandonata negli anni Settanta del secolo scorso. *Torrente Astrone* (Chianciano Terme), cava di grandi dimensioni abbandonata negli anni Ottanta del secolo scorso. *S. Agata* (Chiusdino), abbandonata da vari decenni. Il materiale utile era costituito prevalentemente da **gesso** massivo “saccaroide” e, entro le argille, frequenti masse di gesso alabastrino.

Da segnalare la presenza di cristalli di gesso con abito “pinacoidale”, di dimensioni spesso superiori ai 20 cm di lunghezza: i più significativi provenivano dalla cava del Torrente Astrone. A Fontazzi furono rinvenute formazioni “coralloidi” di aragonite, nonché cristalli di gesso con abito prismatico-bacillare.

**ALABASTRO GESSOSO** – *Monteguidi* (Casole d'Elsa), in cui le attività sono cessate alla fine degli anni Novanta del secolo scorso.

**TRAVERTINO** – *Serre di Rapolano* (Rapolano Terme) e *San Casciano dei Bagni*, dove sono presenti numerose cave dismesse ed alcune tuttora in attività. Altre cave minori di travertino erano ubicate a *Poggio ai Massi* nei pressi di Frosini (Chiusdino), all'*Acqua Borra* (Castelnuovo Berardenga) e lungo l'alveo del *Torrente Farma*.

**SERPENTINITE** – Per usi ornamentali: *Valle-*



Fig. 5 - L'inattiva cava di serpentinite di Poggio La Croce nei pressi di Vallerano (Murlo).

*rano – Poggio La Croce* (Murlo) (Fig. 5). Molto probabilmente il materiale estratto da questa cava è quello che è stato utilizzato nel medioevo come “marmo nero” per il Duomo di Siena. Per brecce e pezzami: *Galleriaie* (Radicondoli), *Casa Serre* (Casole d’Elsa), e *Poggio La Croce* (Murlo).

**QUARZITE E SABBIE SILICEE** – Sporadiche coltivazioni per vetrerie ed industrie ceramiche sono state effettuate nelle zone di *Cotorniano* (Chiusdino), *Celsa* (Sovicille) nella Montagnola Senese e nei pressi dell’Abbazia di *S. Antimo* (Castelnuovo dell’Abate, Comune di Montalcino). Nelle “Relazioni sul servizio minerario del Corpo Reale delle Miniere” (pagg. 138-139, Roma 1924), compaiono notizie circa un’attività estrattiva di sabbie silicee anche nei pressi di *Rapolano Terme*.

**ARGILLE PLASTICHE E ARGILLITI** – I materiali per le costruzioni edilizie sono da sempre quelli più disponibili e, nel territorio senese, l’argilla è stata largamente usata per la fabbricazione di mattoni e tegole. Questa preziosa risorsa è diffusa ovunque nella Provincia di Siena, dalla Val D’Elsa (Poggibonsi) a Nord, fino alla Val d’Orcia (Torrenieri) a Sud.

Le cave di argilla e argilliti hanno rappresentato in passato ed ancora oggi lo sono, una delle primarie industrie estrattive della provincia di Siena. E’ nota ed apprezzata la produzione storica di “ceramiche e terrecotte senesi” e laterizi, che hanno dato vita a numerose aziende e produzioni artigianali di nicchia, oltre ad una redditizia attività industriale, consolidatasi nel corso tempo per la qualità dei suoi prodotti.

**TERRE BOLARI E TERRE GIALLE**

(“*TERRE DI SIENA*”) – Le terre bolari si presentavano in forme stratoidi abbastanza consistenti con colorazione variabile dal giallo al giallo-bruno, al marrone, fino al rosso; le terre gialle erano pulverulente e, ovviamente, sempre di colore giallo. Furono largamente usate come coloranti naturali di alta qualità. Le cave erano situate nella regione amiatina ed in particolare nelle zone di *Casteldelpiano* (*Cava delle Mazzarelle*), *Arcidosso* e *Piancastagnaio*. Nel 1913 la produzione si aggirava sulle 700-800 tonnellate annue (Manasse, 1914; AA.VV., 1992).

se, 1914; AA.VV., 1992).

**FARINA FOSSILE** – La farina fossile, costituita dai gusci silicei di microscopici organismi marini (diatomee), veniva usata per mattoni refrattari, per rivestimenti coibenti, per la fabbricazione della dinamite, come materiale di imballaggio per flaconi contenenti sostanze corrosive e come base bianca per le tinte ad olio. La cava più importante era quella di *Bagnolo*, nel comune di Santa Fiora. Altre cave erano presenti nei dintorni di *Casteldelpiano* (Manasse, 1914).

### Attività estrattive in coltivazione - le miniere

**MINIERA DI CAOLINO DI TORNIELLA** – Riattivata recentemente dopo alcuni anni di abbandono è oggi in piena produzione.

**MINIERE DI GAS ANIDRIDE CARBONICA** – Sono presenti due attività minerarie, una nella zona di Castelnuovo Berardenga al confine con il comune di Ambra e l’altra nei pressi di Poggio Santa Cecilia nel comune di Rapolano Terme.

**MINIERE DI VAPORI ENDOGENI** – Sono presenti nel territorio senese alcune centrali geotermiche per lo sfruttamento dei vapori endogeni. Nel Comune di Radicondoli: centrali *Pianacce*, *Rancia* e *Gabbro*; nel Comune di Piancastagnaio: *Casa del Corto* e *Piancastagnaio*. Nel Comune di Chiusdino: una centrale in completamento. I vapori surriscaldati di queste centrali sono utilizzati per la produzione di energia elettrica e per il teleriscaldamento di abitazioni o in attività industriali (ad esempio la floricoltura all’Amiata).

# RISORSE MINERARIE DEL TERRITORIO SENESE



| N° | RISORSA     | DENOMINAZIONE         |
|----|-------------|-----------------------|
| 1  | RAME        | MIGLIARINO E FORRA    |
| 2  | RAME        | BOTRO ACQUA CALDA     |
| 3  | GESSO       | CAMPORBIANO           |
| 4  | RAME        | CETINE DI CAMPORBIANO |
| 5  | LIGNITE     | LILLIANO              |
| 6  | LIGNITE     | CAMPALLI              |
| 7  | RAME        | RENCINE               |
| 8  | ZOLFO       | AIOLA                 |
| 9  | BARITE      | PONTE A STIELLE       |
| 10 | ZOLFO       | BOTTACCIO             |
| 11 | LIGNITE     | GARDINA               |
| 12 | ZOLFO       | POGGIO ORLANDO        |
| 13 | LIGNITE     | CASINO                |
| 14 | METANO      | MONTARIOSO            |
| 15 | QUARZO      | CELSA                 |
| 16 | GESSO       | CAVALLANO             |
| 17 | FERRO       | LUCERENA              |
| 18 | MAGNESITE   | QUERCETO              |
| 19 | GESSO       | MONTEGUIDI            |
| 20 | MANGANESE   | PODERE BUONINSEGNA    |
| 21 | MANGANESE   | POGGIO S. CECILIA     |
| 22 | RAME        | OPPIANO               |
| 23 | MANGANESE   | MONTEMURO             |
| 24 | MANGANESE   | SIMIGNANO E RADI      |
| 25 | ANIDRIDE C. | POGGIO S. CECILIA     |
| 26 | MANGANESE   | SELVA                 |
| 27 | MANGANESE   | MONTE MARTINO         |
| 28 | MANGANESE   | PODERE DI SOTTO       |
| 29 | CAOLINO     | ANCAIANO              |
| 30 | FERRO       | BAGNI DELLE GALLERAIE |
| 31 | RAME        | PODERE IL SANTO       |
| 32 | PIRITE      | POGGIO MONTECCHI      |
| 33 | PIRITE      | QUARCIGLIONE          |
| 34 | FERRO       | SCALVAIA              |
| 35 | MERCURIO    | CASALE                |
| 36 | MANGANESE   | POGGIO AL VENTO       |
| 37 | ANTIMONIO   | CETINE DI COTORNIANO  |
| 38 | QUARZO      | COTORNIANO            |
| 39 | FERRO       | ANTERIGOLI            |
| 40 | PIOMBO      | CAMPOREDALDI          |
| 41 | PIRITE      | CAMPOREDALDI          |
| 42 | FERRO       | FERRIERA              |
| 43 | FERRO       | STINE                 |
| 44 | MANGANESE   | ROSPATOIO             |
| 45 | METANO      | ASCIANO               |
| 46 | QUARZO      | BAGNI DELLE GALLERAIE |
| 47 | MAGNESITE   | BAGNI DELLE GALLERAIE |
| 48 | GESSO       | FONTAZZI              |
| 49 | MERCURIO    | POGGIO ALLE BUCHE     |
| 50 | LIGNITE     | MONTELIBRE'           |
| 51 | LIGNITE     | RENELLONE             |
| 52 | GESSO       | S. AGATA              |
| 53 | ANTIMONIO   | POGGIO FOGARI         |
| 54 | PIRITE      | DADAIA                |

| N°  | RISORSA            | DENOMINAZIONE                |
|-----|--------------------|------------------------------|
| 55  | PIRITE             | FERRAIA                      |
| 56  | ANTIMONIO          | TOCCHI                       |
| 57  | TALCO              | FOSSO PIETRACUPA             |
| 58  | MANGANESE          | VALLERANO                    |
| 59  | RAME               | VALLERANO                    |
| 60  | RAME               | SELVA SCURA                  |
| 61  | LIGNITE            | MURLO                        |
| 62  | RAME               | POGGIO ABBU'                 |
| 63  | ZINCO              | POGGIO ABBU'                 |
| 64  | MANGANESE          | POGGIO ABBU'                 |
| 65  | MANGANESE          | I POGGI                      |
| 66  | MANGANESE          | FOSSO DELLA CHIESA           |
| 67  | TALCO              | MONTE PERTUSO                |
| 68  | PETROLIO           | PODERE SALCIO                |
| 69  | METANO             | PODERE SALCIO                |
| 70  | LIGNITE            | MAZZINI                      |
| 71  | CAOLINO            | TORNIELLA                    |
| 72  | ZOLFO              | PUTIZZE FARMA                |
| 73  | BARITE             | PUTIZZE FARMA                |
| 74  | MERCURIO           | BOTRO AL CONFINE             |
| 75  | PIOMBO             | S.ANTONIO                    |
| 76  | RAME               | BUCA DEL RAME                |
| 77  | RAME               | FOSSO CETINACCE              |
| 78  | ANTIMONIO          | SELVA                        |
| 79  | ALABASTRO C.       | CASTELNUOVO DELL'ABATE       |
| 80  | LIGNITE            | VELONA                       |
| 81  | GESSO              | ASTRONE                      |
| 82  | MERCURIO           | PIETRI NERI                  |
| 83  | MERCURIO           | ABBADIA SAN SALVATORE        |
| 84  | MANGANESE          | CAMPORSEVOLI                 |
| 85  | MERCURIO           | SIELE                        |
| 86  | MERCURIO           | ABETINA                      |
| 87  | MERCURIO           | SOLFORATE                    |
| 88  | MERCURIO           | SELVENA                      |
| 89  | GESSO              | POGGIO ZOCCOLINO             |
| 90  | MANGANESE          | POGGIO DORIA                 |
| 91  | MANGANESE          | P.GIO SALVI-MARRUCCA         |
| 92  | MANGANESE          | LE POGGIARELLE               |
| 93  | CAOLINO            | POGGIO CASTELLARE            |
| 94  | TALCO              | POGGIO BONARIA               |
| 95  | MERCURIO           | LA SENNA                     |
| 96  | MERCURIO           | RENAIOLI                     |
| 97  | MERCURIO           | NIBBIO                       |
| 98  | MERCURIO           | CASA DI PAOLO                |
| 99  | MERCURIO           | MINIERA DEI CESARI           |
| 100 | MERCURIO           | ALVEO F.SO SIELE             |
| 101 | ANIDRIDE CARBONICA | AMBRA                        |
| 102 | VAPORI ENDOGENI    | PIANACCE, RANCIA, GABBRO     |
| 103 | VAPORI ENDOGENI    | C. DEL CORTO, PIANCASTAGNAIO |
| 104 | ORO                | CETINE DI COTORNIANO         |
| 105 | ORO                | I MONTI                      |
| 106 | ORO                | POGGIO FOGARI                |
| 107 | VAPORI ENDOGENI    | CHIUSDINO                    |

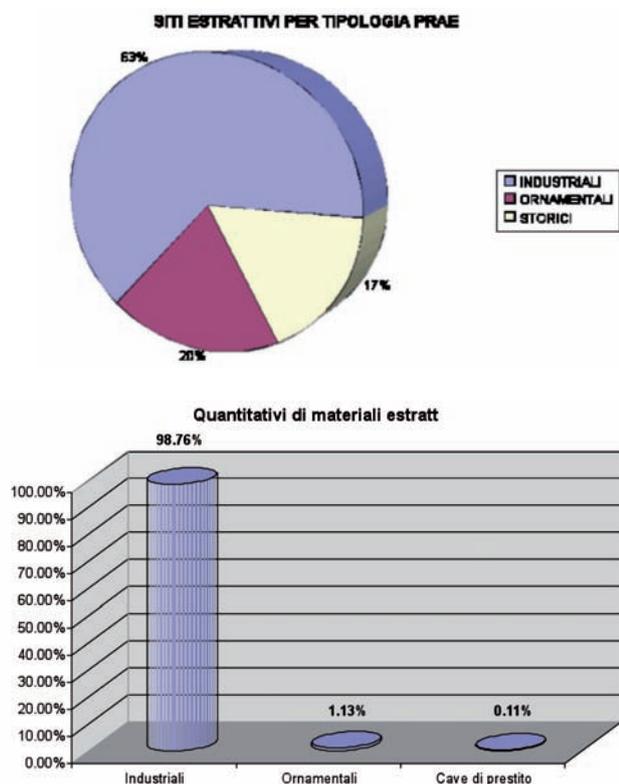


Fig. 6 - Siti estrattivi per tipologia e quantitativi di materiali estratti in base ai dati del P. R. A. E.

| TIPOLOGIA MATERIALI PRAE | QUANTITA' ESTRATTA m <sup>3</sup> |
|--------------------------|-----------------------------------|
| industriali              | 1.764.458                         |
| ornamentali              | 20.204                            |
| cave di prestito         | 2.000                             |
| <b>Totale estratto</b>   | <b>1.786.662</b>                  |

(Dati riferiti all'anno 2006)

### Attività estrattive in coltivazione - le cave

L'analisi che viene presentata qui di seguito sulla situazione estrattiva attuale, lungi dal voler essere definitiva ed esaustiva, cerca di tracciare una sintesi delle attività di cava operative in Provincia di Siena nel biennio 2006-2007.

Premesso che oggi l'esercizio delle cave e delle torbiere nel territorio toscano viene svolto secondo le previsioni del Piano Regionale delle Attività Estrattive (PRAE), delle relative norme tecniche di attuazione e della Legge Regionale 3 novembre 1998 n° 78, *Testo Unico in materia di cave, torbiere, miniere, recupero di aree escavate e*

*riutilizzo di residui recuperabili*, si deve considerare che la Regione Toscana ha recentemente approvato il PRAER, previsto dalla L.R. 78/98, che rappresenta l'atto programmatico del settore estrattivo con cui la Regione stessa stabilisce gli indirizzi e gli obiettivi di riferimento per l'attività di pianificazione in materia di attività estrattive.

Come base della presente analisi si utilizzeranno i dati del PRAER, in quanto più aggiornati e completi, nonché delle comunicazioni annuali dei comuni ricavate dagli archivi del Servizio Ambiente dell'Amministrazione Provinciale di Siena.

Il PRAER riguarda tutti i materiali di cava esistenti nel territorio, distinti in due settori (Fig. 6):

**SETTORE I – MATERIALI PER USI INDUSTRIALI.** Cioè per costruzioni ed opere civili, così come definiti alla lettera a), art. 2 della L.R. 78/98.

In questo settore i materiali oggetto di coltivazione in provincia di Siena, sono:

- *argille e depositi attuali e recenti sabbioso-argillosi*, usati prevalentemente nell'industria dei laterizi; *sabbie e ghiaie* di alluvioni recenti o di depositi più antichi di origine fluvio lacustre. I siti estrattivi sono nei comuni di Castelnuovo Berardenga, Chiusi, Castiglione d'Orcia, Montalcino, Montepulciano, S. Casciano dei Bagni, S. Quirico d'Orcia, Siena, Sinalunga, Sovicille, Trequanda;

- *conglomerati poligenici, brecce poligeniche*, impiegati prevalentemente come inerti. I siti estrattivi sono nei comuni di Buonconvento, Monteriggioni, Monticiano e Monteroni d'Arbia (Fig. 7).

- *calcari e calcareniti, massicci e stratificati*, riferibili sia alla Serie Toscana non metamorfica sia alle Liguridi, impiegati come inerti e come materiali industriali. I siti estrattivi si trovano nei comuni di Asciano, Colle di Val d'Elsa, Gaiole in Chianti, Montepulciano, Sarteano;



Fig. 7 - Val di Merse (Monteriggioni). Cava attiva di inerti per la pavimentazione stradale.



Fig. 8 - Blocchi di serpentinite abbandonati presso la cava inattiva di Poggio la Croce (Vallerano).

- *argilloscisti, marne, marne calcaree e calcari marnosi*, usati prevalentemente come materiali industriali. Un sito estrattivo è nel comune di Radda in Chianti;

- *diaspri e radiolariti*, dal comune di Murlo, usati come inerti;

- *rocce verdi (serpentine, gabbri e diabase)*. L'unico sito estrattivo si trova nel Comune di Murlo;

- *gesso*: un'unica cava con stabilimento di lavorazione ed imballaggio si trova in comune di Colle di Val d'Elsa.

**SETTORE II – MATERIALI ORNAMENTALI.** Al settore degli ornamentali si aggiungono anche i materiali "storici", cioè quei materiali coltivati in passato per uso ornamentale, la conoscenza dei quali riveste particolare importanza sia nel collocamento delle pietre toscane nell'edilizia e nell'arte, sia per il restauro monumentale.

Per quanto concerne questo settore, i materiali coltivati sono:

- *travertini - alabastro calcareo*; i siti estrattivi sono nei comuni di Asciano, Rapolano Terme, S. Casciano dei Bagni, Montalcino e Castiglione d'Orcia;

- *marmi*, nei comuni di Chiusdino, Casole d'Elsa e Sovicille.

Tra le "cave storiche" non è riportata dai piani di settore la cava di serpentinita denominata *Poggio La Croce*, situata nei pressi di Vallerano, in agro del Comune di Murlo; la cava attacca il giacimento in un'area dove la fratturazione della roccia non è così importante, come invece rilevabile nella maggior parte degli affioramenti circostanti; sul piazzale di cava sono ancora oggi visibili blocchi abbandonati da tempo, ancorché utilizzabili (Fig. 8). Notizie storiche, non ben accertate e per le quali sarebbero

auspicabili ulteriori studi, fanno supporre che questa sia la cava utilizzata per la "fabbrica" del Duomo di Siena.

Circa le cave di serpentinita di Murlo, Repetti (1833) cita: "SERPENTINO o MARMO NERO di SIENA; posizione geografica: MURLO di VESCOVADO (nel poggio di Vallerano); qualità e caratteri delle pietre: Tessitura serpentinoso di pasta smorta, con fondo nero e macchiato di una sostanza steatiosa verde-mare. È suscettibile di un pingue pulimento; sostanze principali che le costituiscono: Somiglia al Nero di Prato. La serpentina è meno

ricca di diallagio, e più steatitosa; uso nelle arti: Si lavora a diversi usi, per materiale di fabbriche o di ornato nella città di Siena".

### Testi consultati

AA.VV. (1971) – *La Toscana meridionale*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 27 (fasc. spec.).

AA. VV. (1989) - *Ricerca mineraria di base. Mineralizzazioni ad Oro invisibile nella Toscana meridionale*. Convenzione MICA-ENI.

Anselmi B., Mellini M. & Viti C. (2000) – *Chlorine in the Elba, Monti Livornesi and Murlo serpentines: evidence for sea-water interaction*. Eur. J. Mineral., 12: 137-146.

Betti Carboncini A. (2002) – *Ferrovie e industrie in Toscana, linee secondarie e industriali in Maremma e nell'Isola d'Elba*. Calosci, Cortona.

Betti C., Brogi A., Pagani G. & Regoli R. (2003) – *I minerali delle dolomie paleozoiche della Toscana meridionale*. Riv. Min. It., 3: 138-147.

Betti C. & Pagani G. (2000a) – *Minerali del Senese*. Protagon Editori Toscani, Siena.

Betti C. & Pagani G. (2000b) – *La miniera di magnesite di Querceto, nel Comune di Casole d'Elsa*. Elsanatura, Colle Val d'Elsa, 63-69.

De Stefani C. (1926) – *Gli idrocarburi in Toscana*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 20: 273-280.

Edlmann L. (1920) – *Ricerche su taluni giacimenti manganeseiferi del Senese*. Rass. Min. Metall. Chim., 52 (4): 60-62.

Grill E. (1963) – *Minerali e minerali delle rocce*. Hoepli, Milano.

# CAVE ATTIVE NEL TERRITORIO SENESE

aggiornamento 2006/2007



\*Attivabili solo temporaneamente in caso di prestito per restauro di monumenti di interesse storico/artistico

| N° | COD. PRAER    | DENOMINAZIONE CAVA          | COMUNE                 | ROCCIA ESTRATTA      | SETTORE     |
|----|---------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|-------------|
| 1  | 9002 II 4     | MOLINO BARBURICCO (SILMA)   | SAN CASCIANO DEI BAGNI | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 2  | 9021I2        | S.ALBERTO                   | ASCIANO                | CALCARE              | INDUSTRIALI |
| 3  | 903I3         | LA BEFA GIUNCHETO           | BUONCONVENTO           | BRECCIA DI DIASPRO   | INDUSTRIALI |
| 4  | 906I0         | PIANELLA                    | CASTELNUOVO BERARDENGA | SABBIE E GHIAIE      | INDUSTRIALI |
| 5  | 906II4        | CASTELNUOVO B.ga SCALO      | CASTELNUOVO BERARDENGA | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 6  | 907III4       | POGGIO COVILI               | CASTIGLIONE D'ORCIA    | SABBIE E GHIAIE      | INDUSTRIALI |
| 7  | 911I5         | LA PANIA                    | CHIUSI                 | SABBIE E ARGILLE     | INDUSTRIALI |
| 8  | 912I15        | LE VILLE                    | COLLE DI VAL D'ELSA    | BRECCIE CALCAREE     | INDUSTRIALI |
| 9  | 912II15       | MONTE PILLERI               | COLLE DI VAL D'ELSA    | GESSO                | INDUSTRIALI |
| 10 | 913I13        | MONTEGROSSI                 | GAIOLE IN CHIANTI      | CALCARENITE          | INDUSTRIALI |
| 11 | 914I4         | PODERE PAGANICO             | MONTALCINO             | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 12 | 914II0        | S. ANGELO SCALO             | MONTALCINO             | SABBIE E GHIAIE      | INDUSTRIALI |
| 13 | 915I5         | NOTTOLA                     | MONTEPULCIANO          | SABBIE E ARGILLE     | INDUSTRIALI |
| 14 | 916I15        | VAL DI MERSE                | MONTERIGGIONI          | BRECCIA DI CAVERNOSO | INDUSTRIALI |
| 15 | 917I3         | GROTTI                      | MONTERONI D'ARBIA      | BRECCIA DI CAVERNOSO | INDUSTRIALI |
| 16 | 918I15        | LA CHIUSA                   | MONTICIANO             | BRECCIA DI CAVERNOSO | INDUSTRIALI |
| 17 | 923I4         | CAPARSA                     | RADDA IN CHIANTI       | ARGILLITI            | INDUSTRIALI |
| 18 | 930I4         | MALINTOPPO                  | SAN QUIRICO D'ORCIA    | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 19 | 931I15        | SFERRACAVALLI               | SARTEANO               | CALCARI              | INDUSTRIALI |
| 20 | 932II0        | RONDINELLA                  | SIENA                  | SABBIE E GHIAIE      | INDUSTRIALI |
| 21 | 933III4       | POGGI GIALLI                | SINALUNGA              | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 22 | 933IV4        | TEMPORA                     | SINALUNGA              | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 23 | 934II0        | PIANI DI BRENNIA            | SOVICILLE              | SABBIE E GHIAIE      | INDUSTRIALI |
| 24 | 936I15        | MADONNINO DEI MONTI         | TREQUANDA              | CALCARE              | INDUSTRIALI |
| 25 | 936III5       | POGGIO ADORNO               | TREQUANDA              | SABBIE               | INDUSTRIALI |
| 26 | 936IV4        | S.ALAMANNO                  | TREQUANDA              | ARGILLE              | INDUSTRIALI |
| 27 | OR926I2       | SERRE DI RAPOLANO           | RAPOLANO TERME         | TRAVERTINO           | ORNAMENTALI |
| 28 | OR926II2      | RAPOLANO                    | RAPOLANO TERME         | TRAVERTINO           | ORNAMENTALI |
| 29 | OR927V2       | IL SASSONE                  | SAN CASCIANO DEI BAGNI | TRAVERTINO           | ORNAMENTALI |
| 30 | OR934IV14     | PESCINA                     | SOVICILLE              | MARMO                | ORNAMENTALI |
| 31 | OR934IX14     | PAGACCINO                   | SOVICILLE              | MARMO                | ORNAMENTALI |
| 32 | OR934V14      | VARCO A PELLI - MARRONETONE | SOVICILLE              | MARMI                | ORNAMENTALI |
| 33 | OR934VI14     | CANCELLO DEL PRETE          | SOVICILLE              | MARMO                | ORNAMENTALI |
| 34 | OR934X14      | PIAN DELLE CROCI            | SOVICILLE              | MARMO                | ORNAMENTALI |
| 35 | ST904VII14    | CASE LA SENESE              | SOVICILLE              | MARMO                | STORICI     |
| 36 | ST912III2     | BOTTAIONI                   | COLLE DI VAL D'ELSA    | CALCARE              | STORICI     |
| 37 | ST914IV2      | CASTELNUOVO DELL'ABATE      | MONTALCINO             | ALABASTRO CALCAREO   | STORICI     |
| 38 | ST930III2     | BAGNO VIGNONI               | CASTIGLIONE D'ORCIA    | ALABASTRO CALCAREO   | STORICI     |
| 39 | ST932IV15     | LECCETO                     | SIENA                  | BRECCIA DI TOCCHI    | STORICI     |
| 40 | ST934XI14     | MONTARRENTI                 | CHIUSDINO              | MARMO                | STORICI     |
| 41 | NON SEGNALATA | POGGIO LA CROCE             | MURLO                  | SERPENTINITE         | STORICI     |

Guasparri G. (ed) (1992) – *L'Accademia dei Fisiocritici di Siena. Guida ai musei*. Editoriale Donchisciotte, S. Quirico d'Orcia.

ISTAT- Istituto nazionale di statistica (2006) – *Il valore della moneta dal 1861 al 2005*.

Meli R. (1999) – *I minerali del Fosso della Chiesa (Murlo-SI)*. Riv. Min. It., 2: 103-105.

Manasse E. (1914) – *Le ricchezze minerarie del territorio Senese*. Atti Soc. It. Progr. Sci., VII Riun.

Micheluccini M., Moretti A., Panti F. & Cartei B. (1981) – *I marmi della Montagnola Senese*. Amministrazione Provinciale di Siena.

Regione Toscana (2007) – DCR 27-02-2007 n°27: *Approvazione del piano regionale delle attività estrattive, di recupero delle aree escavate e di riutilizzo dei residui recuperabili (PRAER)...* Suppl. Boll. Uff. Reg. Toscana n°13 del 28-03-2007.

Relazione sul Servizio Minerario e Statistica delle industrie estrattive in Italia – 1923-1982, a

cura di: Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, Dir. Gen. delle Miniere - Corpo delle Miniere.

Rivista del Servizio Minerario – 1880-1922. Pubblicazione del Corpo Reale delle Miniere, a cura del: Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio – Dir. Gen. dell'Agricoltura.

Repetti E. (1833) – *Dizionario Geografico Fisico della Toscana*, scheda 53410/4294.

Savelli F. (1929) – *Risorse minerarie italiane (Siena e Grosseto)* – Siena, Scuola tip. Sordomuti del R. Istituto Pendola.

Segreto L. (1991) – *Monte Amiata*. Collana Ciriec di Storie d'Impresa. Milano.

Tarsitano R. (1989-1990) – *Le miniere senesi dall'Unità d'Italia alla Prima Guerra Mondiale*. Univ. St. Siena, Fac. Sc. Econ. Banc., Tesi di laurea (non pubbl.).

Vicarelli G.B. (1977) – *Castell'Azzara e il suo territorio*. Cantagalli, Siena.



Geco comune o Tarantola muraiola,  
*Tarentola mauritanica* (Linnaeus, 1758)  
Foto "Il Graffio", Follonica

# Conservare per garantire il futuro

Silvia Aurigi\*, Francesca Cagnani\*\*, Lorenza Chiantini\*\*\*

\*Università degli Studi di Siena, Biblioteca centrale Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

\*\*Università degli Studi di Firenze, Biblioteca di Scienze - Sez. Geomineralogia, Via La Pira, 4 - 50121 Firenze

\*\*\*Biblioteca dell'Accademia dei Fisiocritici

aurigi@unisi.it, francesca.cagnani@unifi.it, chiantinil@unisi.it

*Poiché proteggere la biodiversità vuol dire preservarne anche la memoria e la documentazione, in questo articolo segnaliamo alcune basi di dati ed archivi a testo pieno ad essa attinenti, che sono frutto della sinergia di varie componenti del mondo scientifico, politico e produttivo coinvolgenti o interessanti la Toscana,*

## Banca Regionale del Germoplasma <http://germoplasma.arsia.toscana.it/Germo>

Creata dal Dipartimento di Agronomia dell'Università di Firenze, la banca dati di questo sito (Fig. 1) è stata ereditata nel 1966 dall'ARSIA (Agenzia Regionale Sviluppo Innovazione Settore agricolo e forestale).

Scopo della Banca Regionale del Germoplasma è la salvaguardia del patrimonio genetico regionale tramite la conservazione di specifiche popolazioni autoctone e la conoscenza ed informazione della loro variabilità genetica. Il progetto consiste in un lavoro di ricerca di semi e di vecchie varietà di specie prevalentemente vegetali della Toscana da conservare presso l'Orto Botanico di Lucca. La Banca riceve, registra,

archivia e conserva i dati relativi ai campioni. Per la rigenerazione dei semi l'ARSIA ha istituito un elenco di coltivatori custodi che *ex situ* conservano il materiale adeguatamente protetto da infezioni batteriche, virotiche e fungine.

Nel caso delle specie coltivate, la conservazione del germoplasma è particolarmente importante in quanto consente di preservare in modo diretto la biodiversità a livello genetico e di specie e contribuisce in maniera indiretta all'incremento di nuovi caratteri utili.

Le varietà censite comprendono:

- 1) 20 risorse genetiche animali autoctone, di cui 17 a rischio estinzione;
- 2) 58 specie erbacee, di cui 50 a rischio estinzione;
- 3) 25 specie di interesse forestale, tutte a rischio estinzione;
- 4) 463 specie legnose e da frutto, di cui 401 a rischio estinzione;
- 5) 114 specie ornamentali e da fiore, di cui 64 a rischio estinzione.

Le 5 corrispondenti commissioni tecnico-scientifiche, composte da rappresentanti dell'ARSIA e delle associazioni di produttori, da esperti delle Università toscane e di altri enti di ricerca, valutano le proposte di iscrizione ai Repertori regionali delle "risorse genetiche autoctone da tutelare". Ciò può avvenire solo in seguito alla riconosciuta esistenza di un interesse generale alla tutela stessa, dal punto di vista economico, scientifico o culturale.



Fig. 1 - Banca dei semi per la conservazione di specie erbacee di interesse agrario (sito consultato nel febbraio 2009).

Possono essere considerate autoctone, cioè iscrivibili negli appositi Repertori regionali, “anche specie, razze, varietà e cultivar di origine esterna, introdotte da lungo tempo nel territorio della regione ed integrate tradizionalmente nella sua agricoltura e/o nel suo allevamento, nonché tutte le specie, razze, varietà, cultivar, popolazioni ed ecotipi derivanti dalle precedenti per selezione massale sulla base di scelte fenotipiche oltre quelle già autoctone ma attualmente scomparse in Toscana e conservate in orti botanici, allevamenti o centri di ricerca in altre regioni o paesi” (L.R. 50/97, Art. 3, comma 3).

Nei Repertori regionali toscani, pertanto, vengono iscritte le risorse genetiche autoctone secondo la definizione che da’ la legge regionale, e tra queste quelle a rischio di estinzione.

**Modalità d’iscrizione** – Possono presentare domanda d’iscrizione: enti scientifici pubblici o privati, enti pubblici in genere, organizzazioni private e singoli cittadini. L’iscrizione ai Repertori avviene dietro presentazione di un’apposita domanda o a seguito di iniziativa d’ufficio dell’ARSIA o su proposta della Giunta Regionale. La descrizione morfologica deve essere fatta utilizzando le apposite schede descrittive, messe a punto a partire dal 1998, per le principali specie della Toscana

**Le schede descrittive** – Dal sito dell’ARSIA è possibile consultare *on-line* le schede delle specie, dalle quali si possono ricavare le seguenti informazioni:

|  |  |
|--|--|
| Foto   | Caratteristiche agronomiche                |
| Soggetti interessati alla valorizzazione con i riferimenti opportuni | Utilizzazione del prodotto                 |
| Cenni storici  | Caratteristiche tecnologico-organolettiche |
| Zona tipica di produzione  | Descrizione morfologica                    |
| Area di diffusione   |  |
| Aziende coltivatrici   | Bibliografia e note                        |

Per ulteriori informazioni è possibile contattare la Banca Regionale del Germoplasma, Via del G. Botanico, 14 – 55100 Lucca, tel. 0583.442160, fax 0583.442161, e-mail: botanico@mail.lunet.it/



Fig. 2 - Sito di Olea Databases (consultato nel febbraio 2009).

## Olea databases - già Olive Germoplasm (*Olea europaea* L.)

<http://www.oleadb.eu>

Si tratta di una nuova edizione della banca dati dell’olivo “Olive Germplasm: Cultivars and World-Wide Collections” sviluppata nel 1998 dall’Istituto IVALSA (Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree – Consiglio Nazionale delle Ricerche) e dal 2005 distribuita sul web con il contributo della FAO World Information and Early Warning System on Plant Genetic Resources (WIEWS). Il sito (Fig. 2) include dati su tutte le varietà note estratte da 1.520 pubblicazioni che hanno riguardato 1.250 cultivar in 54 paesi e che sono conservate in oltre 100 collezioni.

Nella nuova banca dati, aggiornata in tempo reale, sono riportate le informazioni, disponibili nella letteratura, delle varietà coltivate nel mondo. In particolare:

- le aree di coltivazione ed i loro sinonimi;
- tutti i descrittori pubblicati (morfologici, agronomici, biochimici e molecolari);
- le collezioni di ogni Paese (lista celle accessioni);
- lista dei nomi citati (non descritti) in tutto il mondo;
- bibliografia consultata.

Referente e contatto: Giorgio Bartolini. Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree – CNR di Firenze. E-mail: g.bartolini@ivalsa.cnr.it



Fig. 3 - Sito di RIBES (consultato nel Marzo 2008 – attualmente inattivo perché in aggiornamento).

**RIBES - Rete Italiana di Banche del germoplasma per la conservazione ex situ**  
<http://www.reteitalianagermoplasma.it>

Il 9 febbraio 2005 a Pavia veniva sottoscritto, da 18 istituzioni operanti su gran parte del territorio nazionale, il Protocollo di intesa della rete di Banche del Germoplasma denominata RIBES (<http://www1.unipv.it/labecove/conservazione/ribes.htm>) per la conservazione *ex situ* della flora spontanea italiana. La proposta, nata dalla necessità di un coordinamento a livello nazionale, era stata presentata pubblicamente nell'aprile 2004 a Trento, in occasione del convegno "Banche del Germoplasma: uno strumento per la conservazione. Verso una rete nazionale in prospettiva Europea" svoltosi presso il Museo Tridentino di Scienze Naturali. Alla base dell'iniziativa erano



Fig. 4 - Le istituzioni partecipanti alla BHL.

due documenti chiave del 2002: l'*European Plant Conservation Strategy* e la *Global Strategy for Plant Conservation* adottato dalla Convenzione per la diversità biologica. Questi indicano le azioni specifiche da attivare per raggiungere l'obiettivo di ridurre la perdita di biodiversità ed assicurare la conservazione delle specie a rischio. A ciò va aggiunto che alcune Regioni avevano già emanato proprie norme per la tutela delle risorse genetiche autoctone e per favorire la creazione delle banche dati del germoplasma. Una delle prime è stata proprio la Regione Toscana con la LR. 50 del 1997.

La rete sembra in una fase di stallo ed il sito (Fig. 3) risulta in molte sue pagine ancora "in costruzione", ma l'auspicio è quello che il Ministero e le istituzioni preposte vogliano farsene ufficialmente carico e rilancino l'iniziativa.

ENSCONET – The European Native Seed Conservation Network (<http://www.ensconet.eu>) – è la rete che riunisce le banche dei semi europee cui collaborano numerosi gruppi italiani.

**BHL – Biodiversity Heritage Library**  
<http://www.biodiversitylibrary.org/>

Progetto finanziato in gran parte da fondazioni statunitensi e per il rimanente dalle dieci istituzioni partecipanti: musei, biblioteche e orti botanici (Fig. 4).

Obiettivo principale della BHL, pensata nel 2005 e realizzata a partire dal 2007, è rendere disponibile per tutti gli studiosi, su una piattaforma



Fig. 5 - La "nuvola" del sito BHL (consultato nel febbraio 2009).

web ad accesso libero, la ricca documentazione posseduta da queste istituzioni – oltre 2 milioni di volumi – avente ad oggetto la biodiversità.

Sono 175 i documenti in lingua italiana presenti tra gli oltre 10551 titoli che attualmente coprono, in numero maggiore o minore, i 100 argomenti rappresentati nella suggestiva “nuvola” dei soggetti della BHL (Fig. 5).

Tra questi sono visibili 10 tomi (1760-1841) degli Atti dell’Accademia delle Scienze di Siena, detta dei Fisiocritici (Fig. 6), digitalizzati per conto della Biblioteca del Museo di Storia naturale di Londra, oltre al *Bullettino del Laboratorio ed Orto botanico della Real Università di Siena*.



Fig. 6 - Atti dell’Accademia delle Scienze di Siena, detta dei Fisiocritici. 1760, Tomo I (il primo dei volumi digitalizzati.)

## Perchè BHL Europe

Il patrimonio bibliografico scientifico presente nelle istituzioni europee (biblioteche, musei, accademie) supera per quantità, valore e ricchezza linguistica quello statunitense. Per questo motivo, all’interno della linea di finanziamento “eContent-Plus”, l’Unione Europea sta cercando di sviluppare il progetto BHL-Europe sfruttando *Europeana*, la biblioteca digitale europea contenente al momento documenti in prevalenza di argomento umanistico (<http://www.europeana.eu/portal/>). BHL Europe intenderebbe riunire su un’unica piattaforma i contributi già digitalizzati (monografie, seriali, mappe, manoscritti, films, etc.) provenienti da 27 istituzioni dei Paesi membri in 23 lingue.

## Testi e siti internet di riferimento

Bacchetta G., Fenu G., Mattana E., Piotta B. & Virevaire M. (2006) – *Manuale per la raccolta, studio, conservazione e gestione ex situ del germoplasma*. APAT, Roma. Scaricabile da:

[http://www.ccb-sardegna.it/download/pubblizzazioni/manuali/Manuale\\_germoplasma.pdf](http://www.ccb-sardegna.it/download/pubblizzazioni/manuali/Manuale_germoplasma.pdf)  
(consultato nel marzo 2008).

Bedini G., Rossi G. & Bonomi C. (2005) – *RIBES, la Rete Italiana di Banche del germoplasma*

per la conservazione *Ex Situ* della flora spontanea. *Informatore Botanico Italiano*, 37 (10): 1-3.

[http://www.bancadigermoplasma.it/RIBES/ribes\\_sbi2005.pdf](http://www.bancadigermoplasma.it/RIBES/ribes_sbi2005.pdf)

Rossi G., Bonomi C. & Bedini, G. (2006) – *Conservazione ex situ della flora spontanea italiana: RIBES, una nuova iniziativa nazionale*. *Informatore Botanico Italiano*, 38 (1): 236-247.

Legge Regionale n. 50 del 16 luglio 1997 – *Tutela delle risorse genetiche autoctone*.

[http://www.provincia.siena.it/upload/suap/normativa/agri\\_L\\_R\\_50\\_1997.pdf](http://www.provincia.siena.it/upload/suap/normativa/agri_L_R_50_1997.pdf)

Legge Regionale n. 56 del 6 aprile 2000 – *Norma per la conservazione e la tutela degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche*.

[http://www.rete.toscana.it/sett/pta/natura/biodiversita/lrn56-2000\\_\\_integr-29-1-02\\_.pdf](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/natura/biodiversita/lrn56-2000__integr-29-1-02_.pdf)

La normativa regionale toscana è consultabile all’indirizzo: <http://www.consiglio.regione.toscana.it/>

Rete Natura 2000:

[http://www2.minambiente.it/sito/settori\\_azione/scn/rete\\_natura2000/rete\\_natura2000.asp](http://www2.minambiente.it/sito/settori_azione/scn/rete_natura2000/rete_natura2000.asp)

Progetto BHL Europe:

<http://biodiversitylibrary.blogspot.com/2008/01/biodiversity-heritage-library-europe.html>

Una curiosità: la voce Germoplasma di Wikipedia è ancora in bozza e richiede di essere completata: <http://it.wikipedia.org/wiki/Germoplasma>

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 6 pagine.

##### 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 6 pagine.

##### 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 sintetico relativi a elementi del patrimonio naturale.

Lunghezza: fino a un massimo di 5 pagine.

##### ETRURI@NATURA

Spazio riservato ad argomenti connessi al patrimonio naturale e reperibili nel web.

Lunghezza: fino a un massimo di 4 pagine

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](mailto:etrurianatura@unisi.it); tel. e fax: 0577 47002.

Il Comitato editoriale si riserva ogni facoltà di accettare i testi e, senza alterarne in alcun modo i contenuti, di apportarvi eventuali modifiche in linea con il carattere della rivista. Prima di pubblicarli, in ogni caso, i testi saranno trasmessi agli autori per un'ultima revisione.

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 matura

