



Anno VII - 2010

Etruria *natura*

Periodico scientifico-divulgativo
della Accademia dei Fisiocritici

*Coltivare Conoscenza
Per Creare Coscienza*

Etruria*natura*

ACCADEMIA DEI FISIOCRITICI onlus

Piazzetta Silvio Gigli, 2 – 53100 Siena

Tel. e fax: 0577 232801. E-mail: etrurianatura@unisi.it

Registrazione

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

Direttore responsabile

BACCIO BACCETTI NICCOLINI

Comitato editoriale

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

Macaone, *Papilio machaon* Linnaeus, 1758

IV di copertina

Zygaena carniolica (Scopoli, 1763)

Impaginazione e stampa

Edizioni Cantagalli

Via Massetana Romana 12 - 53100 Siena

Tel. 0577 42102 - Fax 0577 45363



Publicazione realizzata con il contributo dell'Amministrazione Provinciale di Siena

Sommario

Sommario

Presentazione

La pagina dell'Accademia

- 8 Il Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici fra tradizione storica ed innovazione scientifica
Marta Paolini

Contributi

- 14 Quali effetti possono essere prodotti dai cambiamenti climatici? Prepariamoci ad affrontare il futuro riesaminando le vicende del Quaternario
Niccolò Baldassini, Roberto Fondi, Renzo Mazzanti, Roberto Mazzei, Marco Pozzi
- 35 Orologi solari: storia e segreti della misura del tempo
Nicola Ulivieri
- 41 Pienza città rinascimentale: i dissesti del Duomo e del Centro storico
Armando Costantini, Antonio Lazzarotto
- 57 Presenza di composti organici persistenti in uova di due specie di Gabbiano, *Larus argentatus* e *Larus audouinii*, dell'Arcipelago Toscano e della Sardegna
Francesca Burali
- 64 Simboli di aree rurali dimenticate: i casali metropolitani
Carmelo Cannarella, Valeria Piccioni
- 72 Valutazioni di stabilità del Duomo di Pienza: il contributo della prospezione sismica
Domenico Pileggi, Gianfranco Gargani, Dario Albarello
- 77 Studi di ecologia e paleolimnologia nell'area protetta di Edmonson Point (Terra Vittoria, Antartide)
Francesca Borghini, Andrea Colacevich, Silvia Olmastroni

Il punto della situazione

- 88 Geobiologia ed eventi catastrofici. Falsità dell'assioma "Natura non facit saltus"
Roberto Fondi

Orizzonti

- 106 Il nuovo Museo di Storia Naturale della Maremma: un viaggio affascinante nella natura della Toscana meridionale
Andrea Sforzi

Io, il lettore

- 112 Il cavallo fossile di Castelnuovo Berardenga: come è stato scoperto e recuperato
Ivan Martini
- 115 La cura degli alberi in ambiente urbano: intervista a due esperti del settore
Riccardo Ferrari, Giovanni Mastrandrea, Barbara Anselmi

La parola all'immagine

- 122 Il mimetismo animale: l'arte di nascondersi
Gruppo fotografico "Il Graffio"

Schede naturalistiche

- 132 Le Formiche di Grosseto: un angolo di paradiso minacciato dai pescatori di frodo
Elena Mari, Luciano Forti, Sergio Ginanneschi

Etruri@natura

- 138 La Paleomatica
Marco Pozzi

Presentazione

Presentazione



In memoriam – Con la scomparsa di Enzo Tiezzi sentiamo di aver perduto non soltanto un collega che con la sua cultura, apertura mentale, disponibilità ed impegno sociale ha onorato Siena e l’università italiana, ma anche un amico e collaboratore fra i più preziosi. Enzo, infatti, aveva una stima particolare per **Etruria natura** in quanto ne intuiva perfettamente le grandi potenzialità di “Coltivare Conoscenza Per Creare Coscienza” e la considerava un importante anello di collegamento tra le attività istituzionali della Facoltà di Scienze del nostro Ateneo e la cittadinanza del territorio, per cui non trascurava di tenersi costantemente aggiornato sulle nostre attività e di trasmetterci critiche e suggerimenti costruttivi. A lui perciò dedichiamo questo numero della rivista, dove la farfalla ad ali aperte della foto di copertina può essere vista come simbolo della sua metamorfosi, che ci auguriamo vittoriosa, da questa contrastata e transitoria vita terrena ad un’altra radicalmente differente, di atemporale solarità e di illimitata serenità. A rivederci in Dio, Enzo, e grazie di tutto!

Come saranno i cambiamenti climatici del futuro prossimo? – L’analisi relativa ai cambia-

menti climatici, cominciata da Roberto Mazzei e Marco Pozzi nel numero scorso con lo studio delle *cause* dei medesimi, prosegue con un corposo articolo cui hanno messo le mani anche Niccolò Baldassini, Roberto Fondi e Renzo Mazzanti. Stavolta sono presi in considerazione gli *effetti* che le suddette cause hanno prodotto nell’idrosfera, nella litosfera e nella biosfera durante gli ultimi 2,5 milioni di anni – cioè, secondo le più recenti revisioni e proposte stratigrafiche, nell’arco di tutto il Quaternario. L’interesse dell’articolo risiede non soltanto nel suo intrinseco valore didattico-divulgativo, ma anche nel suo intento di fornire risposte scientificamente fondate alla domanda che il pubblico sempre più si pone davanti al fenomeno dell’incremento globale della temperatura: “È possibile avanzare previsioni certe o altamente probabili sui cambiamenti climatici dei decenni futuri, se non altro per consentire a chi ha in mano le sorti delle nazioni di riflettere su come affrontarli?”. Come il lettore avrà modo di constatare, malgrado le innumerevoli incertezze a questa domanda si può rispondere in maniera affermativa.

Non afferrarsi a nessun dogma – Ne “Il punto della situazione”, l’articolo di Roberto Fondi completa il precedente e lo sviluppa in una direzione che generalmente si preferisce non approfondire. Esso riflette una precisa presa di posizione scientifico-culturale che, in quanto tale, potrà essere più o meno volentieri condivisa; comunque sia, interpretarlo come una sorta di mero “manifesto del neo-catastrofismo” significherebbe secondo noi fraintenderne il vero significato. Nella scienza tutti gli *-ismi* devono essere utilizzati solo come strumenti di impulso per la ricerca e

mai come dogmi di fede chiusi ad ogni altra prospettiva. Pertanto, il solo fatto che l'articolo evidenzi con documentate argomentazioni i limiti dell'–ismo corrente, quello uniformitarista di Hutton e Lyell, che per quasi due secoli ha dominato la geobiologia spesso convertendosi in un paradigma sclerotizzante, basta a renderlo meritevole di non poca considerazione.

Due contributi sul Duomo di Pienza – Incastonato su una collina della “mutola e severa” Val d’Orcia, il Duomo di Pienza non è soltanto un monumento di inestimabile valore storico-artistico e paesaggistico, ma anche un simbolo della caducità di tutto ciò che è terreno. I due contributi dedicati in questo numero al tempio voluto da Pio II, di carattere geologico (Armando Costantini e Antonio Lazzarotto) e geofisico (Domenico Pileggi, Gianfranco Gargani e Dario Albarello), mostrano come i secolari, numerosi e dispendiosi interventi effettuati per evitare l’abbassamento e la rotazione della parte absidale, non siano mai riusciti a conseguire risultati definitivi essenzialmente per via della mancata conoscenza dei più elementari fenomeni geologici della zona. Tutto il substrato su cui poggia il Duomo è geologicamente instabile, per cui qualsiasi intervento correttivo su di esso non potrà che avere il valore di un giusto e doveroso ma pur sempre transitorio *maquillage*.

Due musei antagonisti – Il Museo di Storia Naturale della Maremma, all’inaugurazione del quale abbiamo avuto il piacere di partecipare l’autunno scorso, è un gioiello che fa onore a Grosseto, alla Toscana meridionale e all’Italia: moderno, dinamico, proiettato alla cittadinanza del territorio ed aperto al futuro (Andrea Sforzi). Al contrario, il Museo di Storia Naturale dell’Accademia dei Fisiocritici è una gloria di Siena che conserva e perpetua pressoché integralmente l’atmosfera magica ed ovattata della scienza ottocentesca e che

come tale rimane di impronta antica, statica e riservata (Marta Paolini). Si tratta di due realtà antagoniste ma rigorosamente complementari, perché la nostra sfera culturale impone il dovere di inglobarle e mantenerle vive entrambe; ed **Etruria**natura esiste appunto per assolvere anche questo dovere.

Gli altri contenuti – Soprattutto gli assessori all’urbanistica sono invitati a tener conto del pregevole contributo sul recupero materiale e culturale dei casali metropolitani (Carmelo Cannarella e Valeria Piccioni), nonché la critica agli interventi dannosi cui ancora vengono spesso soggetti gli alberi dei nostri centri abitati (Riccardo Ferrari, Giovanni Mastrandrea e Barbara Anselmi). Per il resto, i lettori potranno spaziare dai differenti tipi di orologi solari all’inquinamento ambientale valutato sulla base dei contaminanti rinvenuti in uova di gabbiano, dalla tecnica usata per il recupero di un cavallo fossile alla scheda naturalistica delle Formiche di Grosseto, dall’ecologia antartica all’informatica applicata alla paleontologia; mentre con le foto de Il Graffio avranno modo di effettuare alcune puntate nei fantasmagorici ed inquietanti universi delle farfalle e del mimetismo animale.

Ennesimo appello ai cultori ed agli specialisti di botanica e di zoologia – Non è colpa nostra se anche in questo numero, come nei precedenti, gli argomenti di scienze della Terra continuano a fare la parte del leone. Purtroppo, salvo rare eccezioni e nonostante i nostri ripetuti inviti a collaborare, da parte dei non pochi cultori e specialisti di botanica e di zoologia esistenti a Siena continuano a *non* pervenirci articoli relativi a queste discipline. Se qualcuno ci spiegasse il perché di questo fatto, gliene saremmo grati.

Il Comitato editoriale

La pagina dell'Accademia

La pagina dell'Accademia



Pavonia minore, *Saturnia pavonia* Linnaeus, 1761
Foto "Il Graffio", Follonica

Il Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici fra tradizione storica ed innovazione scientifica

Marta Paolini

Biblioteca comunale degli Intronati, Via della Sapienza 1-5 – 53100 Siena
Via Wagner, 4 - 58100 Grosseto.

Elaborazione sintetica della tesi di laurea in Museologia dal titolo “L'Accademia dei Fisiocritici di Siena fra Sette e Ottocento. Vita istituzionale e storia delle collezioni”, discussa dall'autrice all'Università degli Studi di Pisa, A.A. 2008-2009.

Una visita alle sale del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici di Siena è un'esperienza in grado di appagare il più appassionato interesse scientifico e nello stesso tempo quel senso di partecipazione emotiva che a volte sono in grado di emanare i musei. Un percorso espositivo rigorosamente scientifico che trasmette, grazie ad un'ostensione ottocentesca, un coinvolgimento che accosta ancor di più lo spettatore allo spirito del museo. Scienza e storia coesistono e si sostengono a vicenda narrando un passato lungo più di tre secoli, vivo e attuale ancora oggi.

L'importante ruolo che da sempre il museo fisiocritico ha rivestito nella storia accademica, anche come opportunità di comunicazione e divulgazione scientifica, ha portato a ricostruire storica-

mente le sue vicissitudini e collezioni, tanto più che non esisteva uno studio sistematico, pur essendo veramente copioso il materiale archivistico. Dal carteggio, dalla contabilità, e soprattutto dai verbali delle adunanze - materiale conservato nell'archivio storico e nella biblioteca dell'Accademia - sono emerse notizie che hanno illustrato il progredire del museo fino a farlo divenire come oggi si presenta.

Sin dalla fondazione nel 1691, i ritmi interni dell'Accademia sono sempre stati scanditi dalle “adunanze”, pubbliche e private, occasioni di incontro, confronto e divulgazione scientifica. Tutto ciò di cui si discuteva veniva minuziosamente registrato nei verbali dal Segretario dell'Accademia in carica, che annotava ogni minimo particolare.

Dalla lettura dei verbali dunque riaffiorano la vivace e fervida vita, l'atmosfera accademica, le personalità delle singole figure dei Fisiocritici, a volte davvero originali, le problematiche affrontate con trasporto e partecipazione emotiva.

La ricostruzione storica della nascita e dell'evoluzione di un museo, infatti, si basa nel contempo su due elementi fondamentali che si compensano l'uno con l'altro.

Da una parte, la ricerca storica, sulle fonti documentarie, paziente e metodica, che costituisce le pos-



Corte interna, con lo scheletro dell'esemplare di Balenottera comune (*Balaenoptera physalus*) arenatasi nel 1974 nei pressi di Piombino (LI) e la riproduzione dell'eliometro di Pirro Maria Gabbrielli. (Foto Lensini).



Sezione Geologica – Collezioni regionali di minerali e rocce con a destra la Sala Ambrogio Soldani (Foto Lensini).

senti fondamenta e l'impalcatura di un esame svolto con rigore scientifico. Dall'altra i musei, non esclusi quelli di storia naturale come nel nostro caso, frutto dell'interesse collezionistico variabile in base al tempo, all'area geografica, ma soprattutto dettato dagli studi dei ricercatori che generarono l'esistenza stessa delle collezioni.

Affermava Francis Bacon “la meraviglia è il seme da cui nasce la conoscenza” e proprio una profonda meraviglia per il mondo naturale deve essere stata probabilmente alla base della nascita dei primi e privati nuclei collezionistici che andarono poi a formare il museo dei Fisiocritici.

I verbali, dunque, hanno costituito la principale fonte documentaria utilizzata proprio per la varietà degli argomenti trattati e per la particolarità delle notizie contenute, anche se talvolta difficoltosi da leggere, e non sempre in ordine di data.

Il nucleo originario del Museo fu costituito verosimilmente fra la fine del Seicento e l'inizio del Settecento, proprio nei primi anni di vita dell'Accademia dei Fisiocritici (dal greco, fisiocritico: ricercatore della natura), fondata nel 1691 da Pirro Maria Gabbriellini. Questi aveva radunato una buona raccolta di minerali e altre cose curiose che conservava nella primitiva sede accademica presso l'Ospedale di Santa Maria della Scala; la sede fu poi ospitata dall'Università presso la casa della Sapienza, oggi Biblioteca Comunale degli Intronati. Dopo la morte del fondatore, per motivi politici e per carenza dei finanziamenti vi fu un periodo critico fino al 1759, anno in cui il ministro della Reggenza Pompeo Neri, al quale Pietro Leopoldo affidò la Toscana partendo per il trono imperiale, si prese cura dell'Accademia chiamando a farne parte intellettuali di prestigio. Tra questi vi fu Giu-

seppe Baldassarri¹, noto per i suoi studi su fossili della provincia senese, il quale donò la sua ricca collezione ai Fisiocritici, tuttora esposta nelle vetrine del Museo. Alla sua morte il suo allievo Biagio Bartalini² fu incaricato di risistemare le collezioni dopo il terremoto del 1798 che aveva distrutto la copertura della sala accademica provocando notevoli danni agli scaffali contenenti i reperti. Nominato “custode perpetuo del museo”, anche Bartalini donò i fossili da lui raccolti e studiati all'Accademia insieme al suo erbario, prima raccolta di piante del Senese.

Le sorti del museo sono state strettamente legate alle sedi dell'Accademia e la mancanza di spazi adeguati per una decorosa esposizione è stata sicuramente la principale causa impediente un più veloce e cospicuo sviluppo del museo prima dell'Ottocento.

Soltanto nella nuova e definitiva sede del Convento della Rosa i Fisiocritici poterono disporre di ampi locali in cui finalmente esporre le loro collezioni che sempre più si andavano accrescendo.

Nei primi quarant'anni il museo dei Fisiocritici entrava tuttavia a far parte della cultura istituzionale senese, portando avanti l'impegno di diffusione della scienza anche a livello cittadino; ne è un esempio la scelta di aprire al pubblico le sale del



Sezione Zoologica – Collezione ornitologica (Foto Lensini).



Interno del laboratorio tassidermico inaugurato nel 2005.

museo durante i giorni del 15 e 16 agosto in occasione delle festività del Ferragosto e del Palio.

Oltre ai verbali, altra fonte documentaria risultata di particolare importanza sono state le schede dei doni in entrata, che riportano il nome del donatore. Si tratta di 195 moduli prestampati ricoprenti il periodo che va dal 17 gennaio 1853 al 18 agosto 1868 circa (sulle ultime schede non è riportata la data), compilati dai Direttori in carica con la descrizione dei doni in entrata, come ad esempio i minerali delle colline metallifere, i fossili, le varie collezioni zoologiche e in particolare quelle ornitologiche.

L'importanza di tale fonte documentaria, anche rispetto ai verbali, può essere chiarificata con questo esempio. Se i verbali del 1853 ricordano come prima collezione in entrata quella del Barone Bettino Ricasoli, nei moduli dei doni in entrata dello stesso anno la collezione veniva registrata addirittura in undicesima posizione. Questo vuol dire che i verbali hanno annotato soltanto un'entrata su undici. La loro importanza è tuttavia quella di "parlare", ovvero di non essere freddi come un modulo prestampato da compilare.

Il confronto ragionato delle due fonti è risultato dunque il criterio migliore affinché esse riuscissero a valorizzarsi a vicenda.

Ne scaturisce il ritratto di un'istituzione vivace, che nel corso di tre secoli è nata, cresciuta, adattandosi e confrontandosi nelle situazioni di diffi-

coltà, acquistando da queste ancora più forza ed entusiasmo.

Dai documenti emergono le figure dei primi Direttori. Gaspero Mazzi, fino ad ora sottovalutato nel suo ruolo di Conservatore del museo e sul quale sarebbero positive ulteriori ricerche; Giuseppe Giuli, che diresse il museo in un periodo di crescita e trasformazione proprio grazie alla costituzione del "Regolamento Organico"; Giovanni Campani, sotto la cui direzione il museo assistette ad un vertiginoso aumento delle collezioni donate dagli stessi accademici o da generosi cittadini; segno che l'istituzione era ormai sentita e vissuta con senso di appartenenza dall'intera cittadinanza di Siena.

Dai documenti archivistici si è potuto per la prima volta ricostruire il completo organigramma dei Direttori del museo fino alla fine dell'Ottocento, attraversando tutte le sue vicende istituzionali, compresa la divisione nelle sue sezioni zoologica e geologica guidate da due diversi Direttori.

In seguito alle dimissioni, nel 1861, di Giovanni Campani fu nominato Direttore Attilio Tassi³, che rivestì tale carica fino al 1864, anno del nuovo Regolamento del museo. Con il Regolamento del 1864 la direzione del museo fu divisa in due sezioni; quella zoologica e quella mineralogica, guidate da due distinti Direttori. Ricordiamo per la sezione zoologica, in ordine cronologico, i Direttori Francesco Bernardi⁴, Carlo Grechi, Silverio Bonelli⁵, Achille Quadri, Guglielmo Romiti, Carlo Buonaiuti⁶, Eugenio Ficalbi⁷, Ettore Giacomini⁸, Siliario Accolimbini⁹, coadiuvati nel corso degli anni prima dal Preparatore Lazzaro Buonaiuti quindi dal giovane Sigismondo Brogi¹⁰. Per la sezione mineralogica, sempre in ordine cronologico a par-



Sala Paolo Mascagni – Sezione Anatomica (Foto Lensini).



Due frammenti mandibolari di *Mammuthus meridionalis* provenienti dai dintorni di Chiusi (SI).

tire dal 1864, Pietro Casuccini¹¹, Antonio Pantanelli¹², Antonio Grimaldi, Dante Pantanelli¹³, Carlo Giannetti¹⁴, Enrico Righi¹⁵, Alessandro Pianigiani e Flaminio Tassi¹⁶.

Dall'organigramma è possibile constatare, ad esempio, nell'ultimo ventennio del secolo, un'instabilità cronica del personale direttivo del museo, con un continuo susseguirsi di dimissioni ed elezioni; indizio sintomatico di cause che meriterebbero attenzione e soprattutto ulteriori studi.

Importante dunque la ricostruzione storica delle vicende di questo museo tanto caro a Siena e che ancora oggi costituisce un fondamentale punto di riferimento nel panorama della ricerca scientifica regionale e non solo. Poiché anche nella ricerca delle radici storiche si pone il punto di partenza per l'innovazione.

Verrebbe dunque da chiedersi quale valore assume oggi il mantenimento di un'esposizione ottocentesca per il museo di un'Accademia scientifica che fin qui abbiamo descritto come fertile per le novità e per una moderna divulgazione del suo secolare sapere.

La scelta ha una valenza principalmente storica e testimonia l'intento dell'Accademia di voler comunicare visivamente le origini e gli sviluppi storici del suo museo.

Questo ha implicato naturalmente delle precise decisioni di carattere espositivo; l'organizzazione degli spazi e dei locali, il mantenimento delle vetrine originali sono scelte probabilmente coraggiose, non corrispondenti ai moderni metodi ed esigenze museologiche, ma che si pongono come fondamentale testimo-

nianza del gusto collezionistico ed espositivo dell'Ottocento.

Ne scaturisce una visita evocativa e d'impatto; tuttavia senza finte "ricostruzioni" di ambienti ed esposizioni che spesso finiscono per banalizzare il passato storico.

Parallelamente a queste scelte di preservazione e documentazione visiva dell'esposizione storica del museo, l'Accademia ha dimostrato di non essersi mai sclerotizzata nel suo passato e di sentire ancora fortemente lo storico obiettivo di essere portatrice di un

sapere scientifico sempre in evoluzione e al passo con i tempi.

Il laboratorio tassidermico, riaperto nel 1970 e rinnovato completamente a norma di legge nel 2005, oltre a permettere la preparazione degli esemplari zoologici donati all'Accademia che ancora oggi giungono nella sua sede opera come supporto all'attività di ricerca dell'Università degli Studi di Siena.

Gli ambienti del museo dedicati alla figura di Paolo Mascagni, ristrutturati nel 2008 in chiave moderna, con spazi ariosi, bianchi e molto luminosi, crea un forte contrasto con gli adiacenti lunghi corridoi della sezione zoologica; simbolo dell'imprescindibile necessità di far coesistere la preservazione della memoria e della tradizione con l'apertura ai nuovi metodi di esposizione museale.

Significativa, su questa linea di pensiero, la creazione dei siti *web* dell'Accademia e dei catalo-



Particolare della collezione ottocentesca di marmi antichi costituita da 230 esemplari.



Collezione ornitologica - Fenicotteri rosa (*Phoenicopterus ruber*).

ghi delle collezioni, nonché, a partire dalla fine del 2010, un percorso con *touch screen* multimediali per i visitatori: finestra aperta sul mondo attraverso nuovi canali di comunicazione.

Da non dimenticare inoltre le tante attività ed iniziative dell'Accademia - dalle attività museali e di ricerca a quelle divulgative - che dimostrano ancora oggi fedeltà al suo obiettivo di diffusione del sapere scientifico. Una divulgazione attenta alla rigorosa richiesta scientifica, con l'organizza-



Collezione Pesci - Pesce palla (*Tetrodon hispidus*).

zione di convegni, conferenze, mostre dai percorsi mai scontati; ma nel contempo aperta a un percorso tattile nella sezione zoologica per ipo e non vedenti e all'occhio meravigliato e curioso dei bambini, grazie ai laboratori didattici, alle dimostrazioni scientifiche e alle visite guidate appositamente strutturate per loro.

Note

¹ Giuseppe Baldassarri (Sarsina 1705 - Siena 1785).

² Biagio Bartolini (1750-1822).

³ Attilio Tassi: professore di Botanica e Rettore dell'Università senese dal 1890 al 1892.

⁴ Francesco Bernardi: donatore di un importantissimo nucleo della collezione paleontologica ancora conservata dal museo fisiocritico.

⁵ Silverio Bonelli (1840-1876): scienziato, nel 1876 donò all'Accademia la sua collezione di conchiglie fossili oggi conservata nella sezione paleontologica.

⁶ Carlo Buoniauti: Direttore dal 1887 al 1889, anno delle sue dimissioni.

⁷ Eugenio Ficalbi (1858-1922): scienziato e naturalista. Passò gran parte della sua vita a classificare la distribuzione sul territorio nazionale di 20 specie diverse di zanzare.

⁸ Ettore Giacomini: Direttore dal 1890 al 1899.

⁹ Silirio Accolimboni: ultimo Direttore (dal 1899) dell'Ottocento.

¹⁰ Sigismondo Brogi (Siena 1851-1899): rivestì il ruolo di Preparatore zoologico per l'Accademia dei Fisiocritici in seguito alle dimissioni di Lazzaro Buoniauti (1868). Essendo ancora studente, nei primi anni completò la sua istruzione e soltanto nel 1870 iniziò la sua attività in Accademia; attività che svolse fino al 1886. A Siena fu personalità molto attiva; terminato il suo impegno in Accademia aprì un laboratorio tassidermico in Pian dei Mantellini.

¹¹ Pietro Casuccini: il primo Direttore della sezione mineralogica.

¹² Antonio Pantanelli (Siena 1828 - 1873). Nel 1848, fu volontario a Curtatone e Montanara. Durante la restaurazione del governo dei Lorena subì persecuzioni. Si distinse come ottimo insegnante delle Scuole Tecniche. Fu Direttore del Museo Mineralogico e Geologico dell'Accademia dal 1867 fino al 1872.

¹³ Dante Pantanelli (Siena 1844 - Modena 1913): si laureò in Scienze Matematiche all'Università di Pisa nel 1865 e fu, quindi, nominato professore di Fisica nei Regi Licei. Ricoprì quest'incarico, prima a Cagliari (1865-1869), poi a Spoleto (1869-1873) e, infine a Siena (1873-1882). Fu durante il soggiorno senese che cominciò ad occuparsi con ardore dello studio delle Scienze Naturali e specialmente della Malacologia, della Paleontologia e della Geologia, maturando una qualificazione scientifica tanto rilevante da permettergli, nel 1882, di vincere un concorso a professore universitario di Geologia e Mineralogia presso l'Università di Modena. Membro dell'Accademia dei Fisiocritici dal 1874 al 1882, come socio ordinario della classe di Scienze Fisiche, ricoprendo tra l'altro, il ruolo di direttore del Museo Mineralogico e Geologico.

¹⁴ Carlo Giannetti: professore all'Università di Siena.

¹⁵ Enrico Righi: Cavaliere ufficiale Enrico Righi. Direttore dal 1887 al 1889.

¹⁶ Flaminio Tassi (1851- 1917): botanico senese.



Melitaea cinxia (Linnaeus, 1758)
Foto "Il Graffio", Follonica

Quali effetti possono essere prodotti dai cambiamenti climatici? Prepariamoci ad affrontare il futuro riesaminando le vicende del Quaternario

Niccolò Baldassini *, Roberto Fondi *, Renzo Mazzanti *, Roberto Mazzei *, Marco Pozzi **

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

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

Introduzione

Le oscillazioni climatiche che si sono succedute durante il Quaternario (il cui inizio, secondo le più recenti proposte in campo stratigrafico, deve essere fatto arretrare a 2,5 milioni di anni fa), ed in particolare quelle realizzatesi nell'intervallo cosiddetto "glaciale" (corrispondente agli ultimi 800.000 anni), sono state oggetto di numerose ed approfondite ricerche, le quali hanno messo in evidenza non soltanto le cause più probabili di tali fenomeni, ma anche e soprattutto la loro ampiezza ed i loro effetti conseguenti (di tipo biologico, geologico, ecc.). Tutto questo, sebbene sia rilevabile con chiarezza negli ambienti accademico-scientifici, non lo è altrettanto nel mondo del vasto pubblico, dove spesso prevalgono la cattiva informazione e la strumentalizzazione dei dati. Se non altro per rendere di più facile comprensione l'argomento, lo scorso anno due degli scriventi (Roberto Mazzei e Marco Pozzi) hanno pubblicato su questa rivista un articolo incentrato sulle *cause* delle fluttuazioni climatiche quaternarie e sulle loro interazioni. L'articolo ha evidenziato che "per far scattare la grande macchina del clima verso una alternanza glaciale/interglaciale occorre verosimilmente l'azione combinata di più fattori, sia interni al sistema Terra (circolazione oceanica,

disposizione dei continenti, eruzioni vulcaniche, produttività, ecc.) che esterni ad esso (cicli astronomici)". Infatti, poiché i fattori messi in rilievo da Milutin Milankovitch (Fig. 1) potrebbero non essere sufficienti a condizionare il clima in una direzione, è necessario che fattori di altra natura modulabili di fondo vadano a sommarsi ai primi entrando "in fase" con essi. A dimostrazione della grande importanza che può rivestire un fattore non legato ai cicli astronomici basti ricordare l'episodio di raffreddamento del Dryas Superiore, il quale interruppe in modo drastico e sostanziale una periodicità acquisita e da solo risultò in condizione di modificare il clima globale. Sempre nel medesimo articolo, inoltre, è stato mostrato come la transizione da uno stadio glaciale ad uno interglaciale e viceversa possa verificarsi in brevissimo

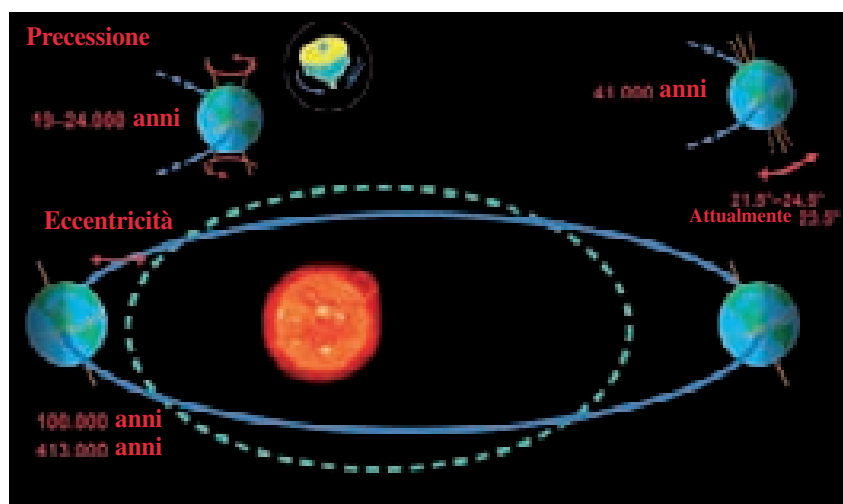


Fig. 1 - Le tre variabili cicliche di natura astronomica messe in evidenza da Milutin Milankovitch: eccentricità dell'orbita, moto "a trottola" di precessione degli equinozi dell'asse di rotazione ed angolo di inclinazione del medesimo.

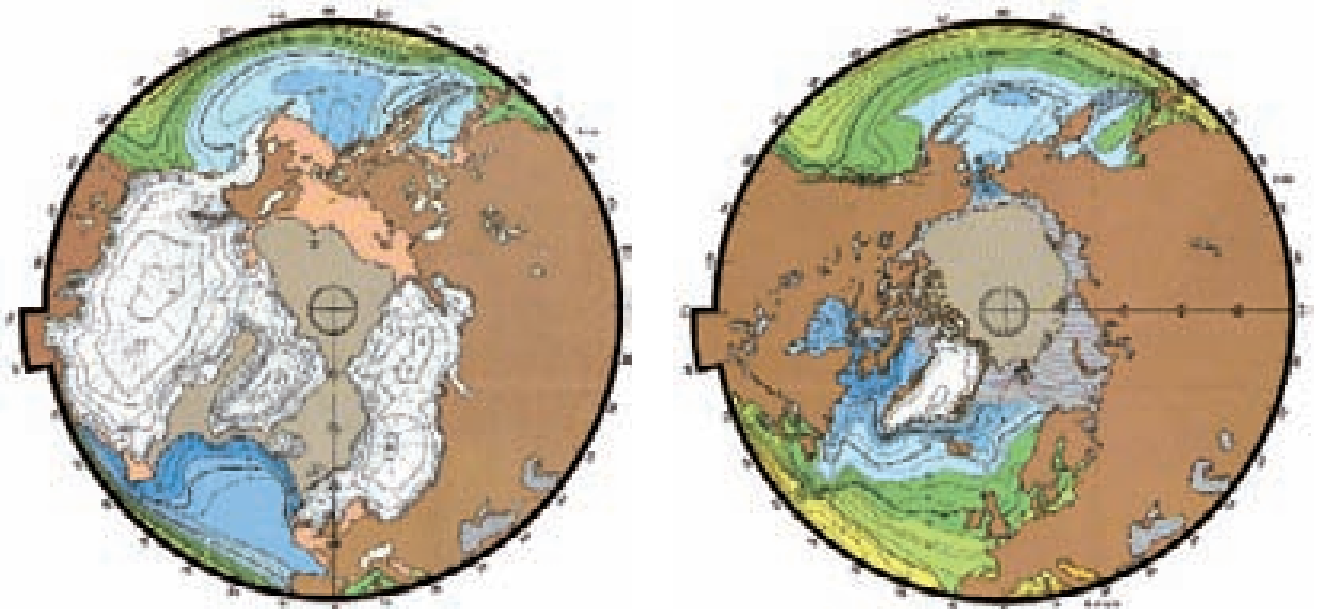


Fig. 2 - Estensione dei ghiacci continentali e marini nell'emisfero boreale in base ai dati del CLIMAP (1981): a sinistra, circa 18.000 anni fa, durante il culmine dell'ultimo episodio glaciale; a destra, nell'epoca attuale.

tempo (per "salto netto") e senza con ciò presentare necessariamente i drastici connotati di una catastrofe: sembra infatti che sia sufficiente la diminuzione di un grado della temperatura media annua perché il limite delle nevi perenni si abbassi di circa 200 m ed il fronte dei ghiacciai avanzi di circa 400 m.

In continuità con il lavoro di Mazzei e Pozzi sopra citato, ci proponiamo qui di evidenziare gli *effetti* che i grandi cambiamenti climatici producono sull'idrosfera, sulla litosfera e sulla biosfera. Una particolare attenzione è rivolta anche alle relazioni tra lo sviluppo delle società umane e le variazioni climatiche, nonché a possibili scenari del futuro. Per completare la documentazione sull'argomento, e nella speranza di fare cosa gradita al lettore, si rimanda ad un prossimo articolo la trattazione degli effetti sull'atmosfera.

Lo sviluppo del fenomeno glaciale quaternario: caratteri generali

Durante il Quaternario, includente le ultime due epoche Pleistocene (da 2,5 milioni a 10.000 anni fa) ed Olocene (da 10.000 anni fa ad oggi), l'intero pianeta è stato scosso da grandi convulsioni climatiche, con gigantesche calotte di ghiaccio che si sono espanse e ritirate a più riprese dalle regioni polari verso le medie latitudini.

Fatta eccezione per l'Antartide, le maggiori estensioni di ghiaccio ebbero luogo nell'emisfero boreale (Fig. 2), con in primo piano la calotta Lau-

rentide del Nord America. Questa raggiunse il suo massimo spessore in corrispondenza della Baia di Hudson e, durante le sue fasi culminanti, arrivò a fondersi ad occidente con la calotta delle Montagne Rocciose, generando così una gigantesca forza di ghiaccio che coprì il Nord America da oceano ad oceano fino approssimativamente all'attuale confine tra il Canada e gli USA. In Eurasia, invece, la maggiore calotta glaciale si sviluppò a partire dai monti della Scandinavia, fondendosi ad Ovest con quella delle Isole Britanniche e ad Est con quella vasta, ma meno spessa, degli Urali e della Siberia occidentale. Anche le Alpi e molte alte montagne isolate risentirono degli episodi di

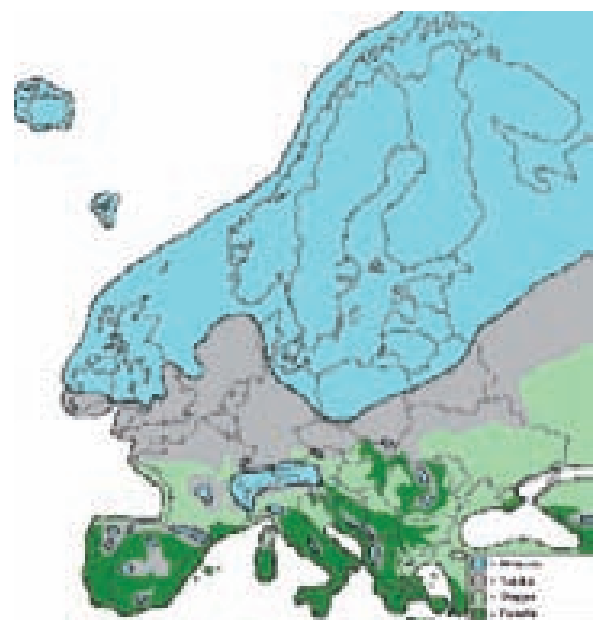


Fig. 3 - Distribuzione delle fasce di vegetazione europee durante l'acme dell'ultima glaciazione.

avanzamento glaciale, coprendosi di ghiacciai molto più grandi di quelli attuali.

A Sud dei margini della calotta glaciale eurasiatica vi era un'ampia estensione di tundra del tipo di quella che attualmente si estende oltre il Circolo Polare Artico, dove il suolo (*permafrost*) era gelato in profondità e dove, negli avvallamenti meno esposti ai furiosi venti catabatici generati dall'aria fredda della calotta medesima, i soli alberi che potevano attecchirvi erano larici, pini, ginepri, betulle e salici dal portamento nano o strisciante. Alla tundra facevano seguito, soprattutto ad Est, vaste distese di steppa fredda, mentre la foresta rimase confinata a Sud delle barriere montuose pirenaica, alpina e carpatica e si mantenne generalmente di tipo temperato-freddo, assumen-

do carattere temperato unicamente in alcune zone più riparate (Fig. 3).

Lungo la fascia periglaciale di entrambe le grandi calotte boreali si depositarono accumuli spesso assai potenti di sedimento fine trasportato dal vento (*loess*); e il fatto che nel Nord America i frequenti resti di legno rinvenuti in tale sedimento mostrino come in prossimità del fronte della calotta medesima crescessero alberi distribuiti in una steppa erbosa (un quadro che differisce in modo netto da quello di tundra vera e propria presentato dal Pleistocene eurasiatico), deve essere attribuito alla posizione notevolmente più avanzata a Sud di tale fronte.

Lungo la fascia equatoriale, coperture di ghiaccio poterono formarsi unicamente sulle più alte montagne dell'Africa (il Kilimanjaro, il Kenya e il Ruwenzori), mentre nell'emisfero australe interessarono l'Isola del Sud della Nuova Zelanda e la Terra del Fuoco. Ghiacciai simili a quelli alpini si accumularono nella Tasmania e nelle Ande patagoniche.

Le documentazioni fornite dalla paleontologia e dalla chimica isotopica dimostrano che rapidi ed intensi raffreddamenti ebbero luogo intorno a 3 ed a 2,5 milioni di anni fa, apparentemente in risposta alla formazione di accumuli glaciali continentali. L'intervallo di tempo successivo compreso tra 2,5 e 0,8 milioni di anni fa vide fluttuazioni climatiche di entità moderata (tanto che, ad esempio, le faune a mammiferi mantennero un carattere terziario); invece il rimanente del Pleistocene, denominato glaciale, fu segnato da fluttuazioni climatiche più ampie e serrate, le quali determinarono l'estinzione delle faune a carattere terziario ed il definitivo instaurarsi di quelle moderne.

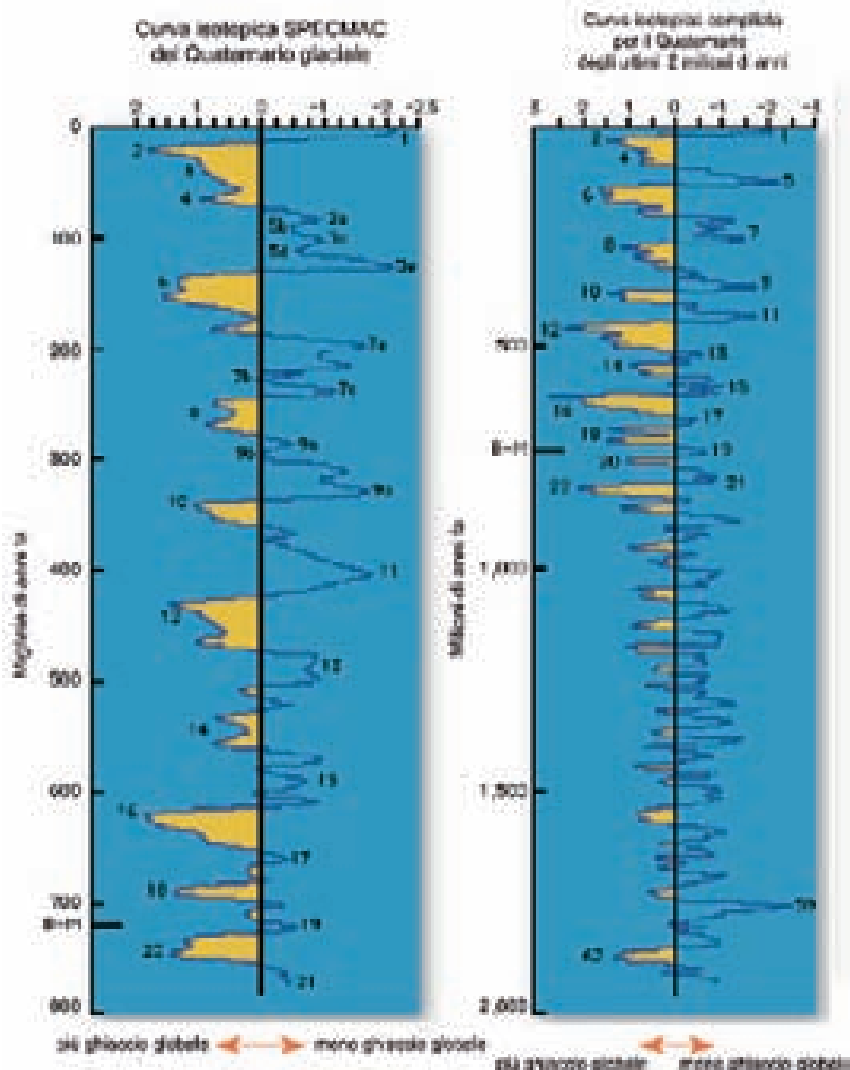


Fig. 4 - Fluttuazioni del rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ nell'arco degli ultimi 2 milioni di anni (a destra) e, con maggiore dettaglio, del Quaternario cosiddetto "glaciale", ovvero relativo agli ultimi 800.000 anni (a sinistra). Gli stadi "freddi", caratterizzati da maggiori quantità di ^{18}O , sono evidenziati in giallo. Mentre la curva isotopica di sinistra è stata realizzata dallo SPECMAC (Special Mapping Project) sulla base di 5 "carote" di sedimento marino profondo prelevate da siti oceanici di bassa e media latitudine, quella di destra risulta dalla compilazione delle informazioni fornite da 4 carote estratte dal Pacifico equatoriale, dal Mar dei Caraibi e dall'Atlantico settentrionale. La sigla B-M segna il passaggio dall'epoca geomagnetica di Matuyama, a campo invertito, a quella attuale o di Brunhes, a campo normale.

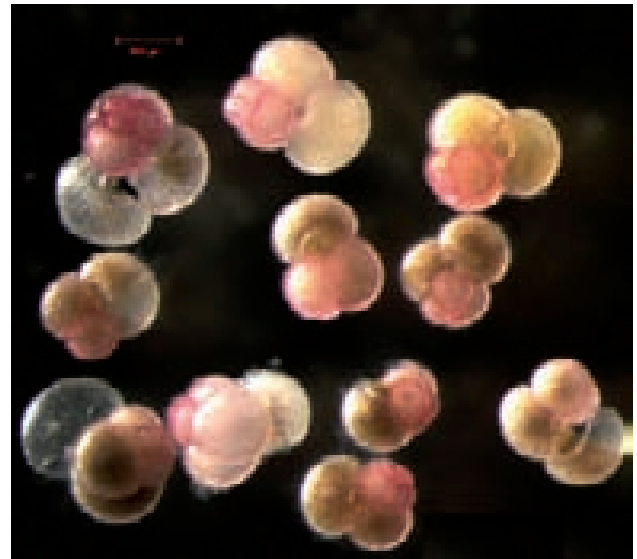
La sequenza dei depositi continentali in Europa e nel Nord America permette di distinguere nel Pleistocene Medio-Superiore almeno quattro principali intervalli glaciali inframezzati da tre interglaciali (per l'area alpina si ricordano le glaciazioni Günz, Mindel, Riss e Würm, corrispondenti a quelle nordamericane del



Fig. 5 - Due esempi di indicatori climatici relativi al dominio marino. In alto, il coccolitoforide *Coccolithus pelagicus*, abitatore di acque fredde. A destra, il foraminifero planctonico *Globigerinoides ruber*, tipico di acque calde.

Nebraska, del Kansas, dell'Illinois e del Wisconsin). D'altra parte è divenuto evidente non soltanto che i maggiori episodi glaciali furono interessati da pulsazioni minori più miti, ma anche che gli episodi interglaciali conobbero pulsazioni minori più fredde. Tutte queste fluttuazioni sono puntualmente registrate dalle variazioni dei rapporti isotopici dell'ossigeno ottenuti dal carotaggio sistematico dei sedimenti di mare profondo di ogni parte del globo (le misure di tali rapporti, lo ricordiamo, vengono effettuate sui gusci dei Foraminiferi, dove i due isotopi ^{18}O e ^{16}O sono presenti nelle stesse proporzioni dell'acqua marina). Alla luce della curva isotopica (Fig. 4), risulterebbe che in tutto il Pleistocene vi sono state numerose espansioni glaciali, ciascuna ogni 100.000 anni circa, con intensità crescenti verso l'ultima parte dell'epoca.

Tra i più utili indicatori climatici biologici vanno annoverati per il dominio marino i Coccolitoforidi ed i Foraminiferi planctonici (Fig. 5) e



per il dominio continentale le spore ed i pollini vegetali (Fig. 6), i Gasteropodi Polmonati (Fig. 6) ed alcuni ordini di Insetti quali i Coleotteri.

Effetti sull'idrosfera e sulla litosfera

Le variazioni climatiche di maggiore entità che si sono succedute durante il Quaternario ebbero influenza non soltanto sulle masse d'acqua, ma anche sulle terre emerse. Significative oscillazioni del clima in senso "freddo" portarono infatti, come si è detto, alla formazione di spesse coperture di ghiaccio in grandi aree del globo, sia marine che continentali, mentre quelle in senso "caldo" condussero a forti riduzioni o scomparse delle coperture stesse per effetto del loro disgelo. Poiché i ghiacciai rappresentano una riserva di acqua dolce fissata in forma solida, la quale viene sottratta al normale ciclo che lega i mari all'atmosfera e ai continenti attraverso i processi di evaporazione e

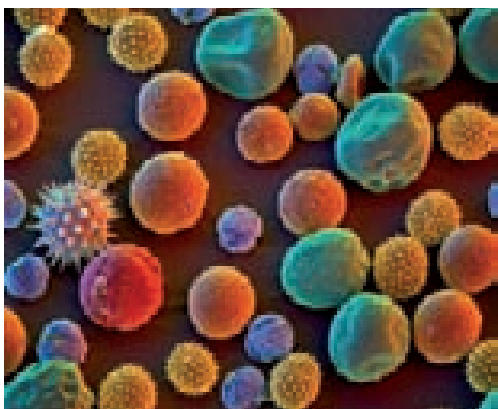


Fig. 6 - Due esempi di indicatori climatici relativi al dominio continentale. A sinistra, granuli di polline di differenti specie vegetali. A destra, il piccolo gasteropode polmonato *Pupilla muscorum*, che ha la proprietà di reagire ai cambiamenti di temperatura allungando la conchiglia nei momenti più freddi e rendendola più tozza in quelli più miti.

di precipitazione, è ovvio che i ripetuti fenomeni di glaciazione e di disgelo, comportando immense variazioni volumetriche dell'acqua, abbiano prodotto rispettivamente abbassamenti ed innalzamenti del livello marino. A titolo di esempio si ricorda l'abbassamento di oltre 100 m verificatosi circa 20.000 anni fa durante il momento di



Fig. 7 - Come doveva presentarsi il nostro Paese durante l'acme di raffreddamento dell'ultima glaciazione, allorché il livello del mare si abbassò di oltre 100 m.

acme della glaciazione würmiana (Fig. 7). Nell'area mediterranea, tale abbassamento è documentato anche dalla presenza di letti sedimentari contenenti molluschi di acqua salmastra, ooliti e torbe ubicati a circa 100 m sotto l'attuale livello del mare. Al di fuori del Mediterraneo, la documenta-

zione a riguardo è altresì fornita dai mammiferi che migrarono dalla Siberia all'Alaska attraverso il territorio della Beringia, attualmente occupato da una colonna d'acqua – lo Stretto di Bering – di profondità confrontabile.

In tutta la storia geologica del pianeta, e quindi anche nel Quaternario, le variazioni del livello marino hanno avuto un ruolo di grande importanza, se non altro per il controllo da esse esercitato sui processi sedimentari. Il verificarsi di trasgressioni (con il mare che va ad occupare aree precedentemente scoperte) o di regressioni (con il mare che arretra rispetto alle terre emerse scoprendo i precedenti fondali marini) può essere dovuto ad almeno tre tipi di fenomeni: *subsidenza* (cioè abbassamento del suolo per cause naturali, quali il peso della coltre sedimentaria, o antropiche, quali un eccessivo emungimento delle falde acquifere), *movimenti tettonici* (come quelli connessi alle orogenesi) o *aggiustamenti isostatici* (seguiti la rimozione di masse di ghiaccio o l'accumulo di sedimenti: ne parleremo più avanti). Per meglio comprendere il ruolo dell'eustatismo (ovvero l'innalzamento del livello del mare legato a variazione climatica) e della subsidenza, si ricorda che nell'area veneziana la risalita eustatica dagli inizi del secolo scorso agli anni '70 è stata di 9 cm (5 dei quali dal 1970 ad oggi), mentre l'abbassamento medio del suolo (probabilmente connesso anche con l'emungimento delle falde) è stato di circa 12 cm dal 1950 al 1970. Questi due processi hanno contribuito a far variare nel tempo il livello medio del mare, che attualmente è circa 26 cm (media degli ultimi dieci anni) più alto di quello del 1897.

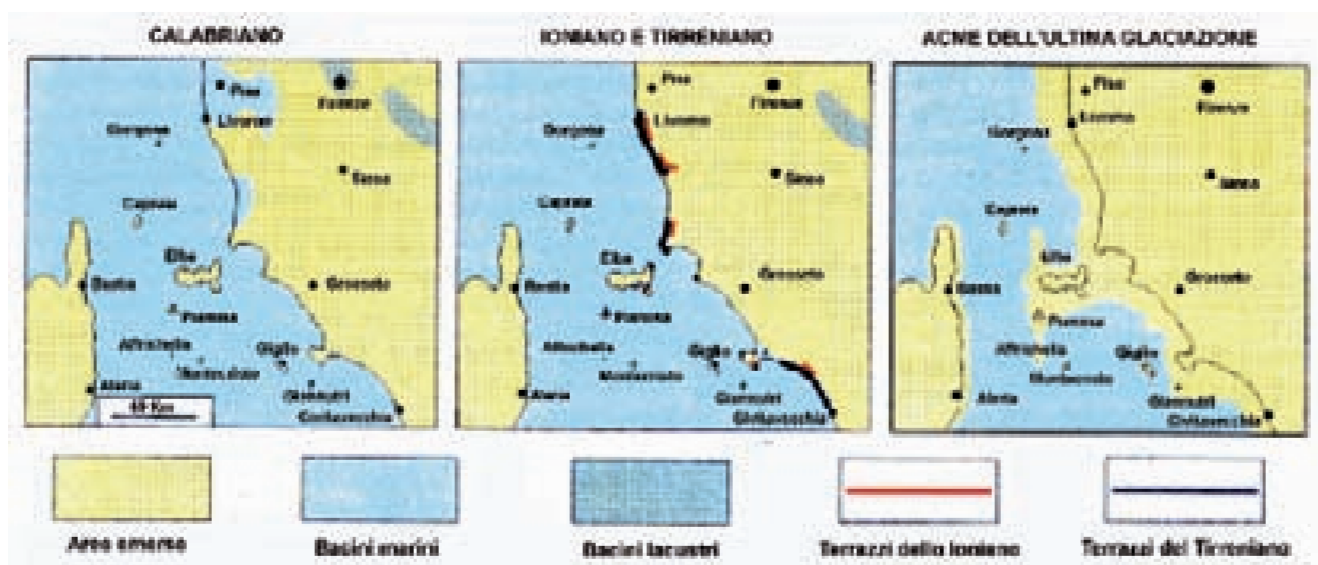


Fig. 8 - Variazioni della linea di costa toscana durante il Pleistocene (da Mazzanti, 2008).

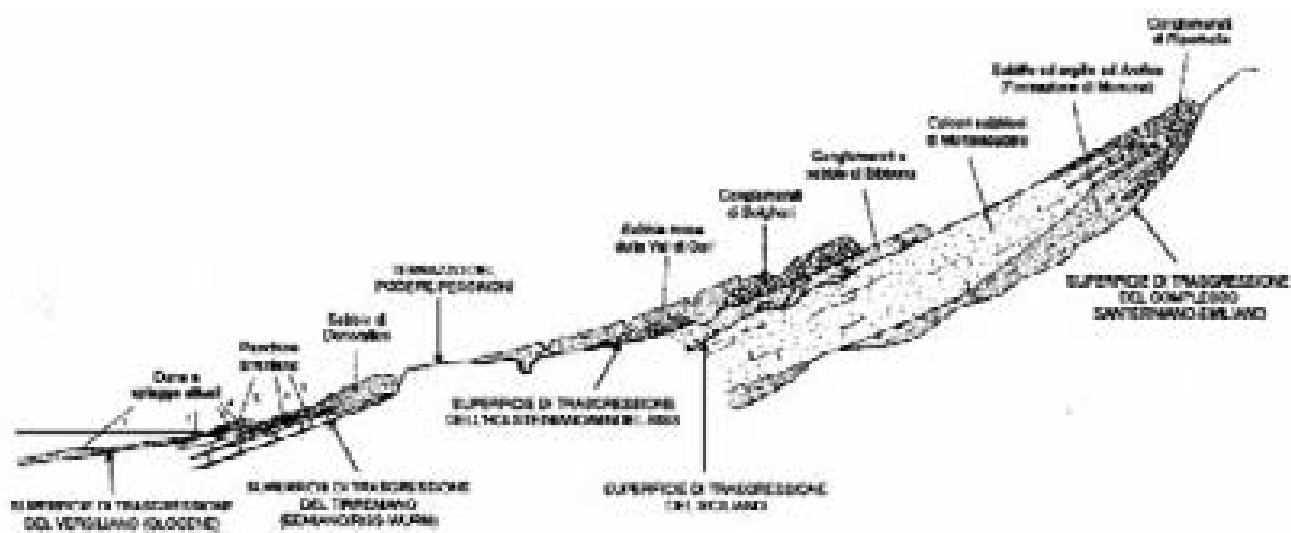


Fig. 9 - Morfologia e stratigrafia quaternaria della costa tirrenica toscana (da Mazzanti, 1983).

Non è necessario inoltrarsi nelle tematiche della geologia per comprendere come le variazioni di livello relativo tra le masse continentali e la superficie dei mari e degli oceani determinino cambiamenti delle linee di costa e quindi di paesaggio, processi deposizionali ed erosionali, formazione di terrazzi marini o fluviali, ecc. (Fig. 8). Più in particolare, per quanto concerne le trasgressioni, si ricorda che la loro identificazione, procedendo dalle rocce più antiche a quelle più recenti nell'ambito di una successione sedimentaria, è idealmente basata sull'osservazione di un cambiamento da depositi di facies costiera (rocce sedimentarie clastiche a grana più grossolana) a depositi di facies di mare aper-

to (argille o marne); ovviamente, per le regressioni vale il modello opposto (Fig. 9).

Un altro aspetto interessante da sottolineare è la relazione che esiste tra i cambiamenti climatici e le correnti oceaniche. Com'è noto, l'acqua degli oceani è in continuo movimento per effetto non soltanto delle maree e del moto ondoso, ma anche e soprattutto delle correnti. Una delle principali cause della formazione di queste ultime è la differenza di densità delle acque, legata sia alla temperatura che alla salinità: la densità, infatti, diminuisce con l'aumentare della temperatura ed aumenta con l'incrementarsi della salinità. Le acque più dense, e quindi più pesanti, tendono a sprofondare ed a disporsi sotto quelle meno dense e più calde.

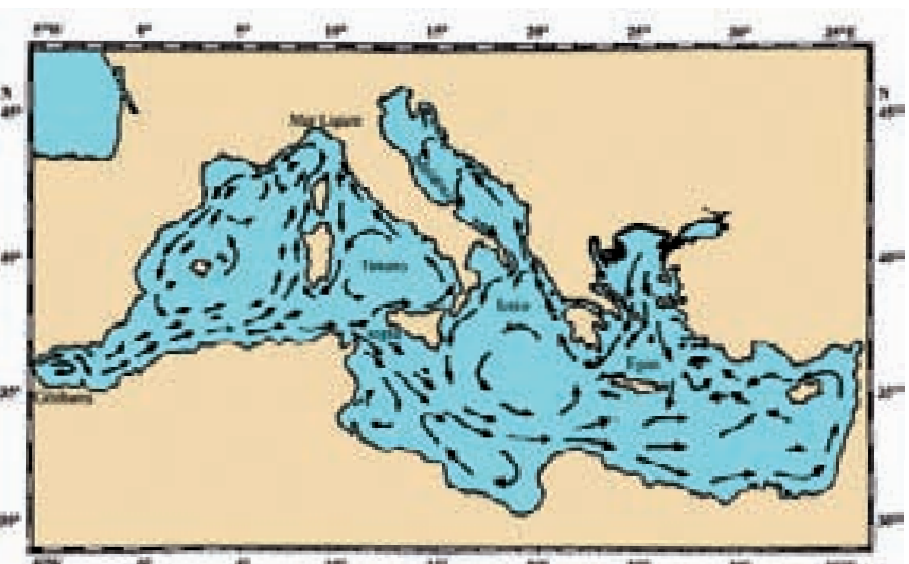


Fig. 10 - Nel Mediterraneo orientale la forte evaporazione, non bilanciata da un sufficiente apporto di acque dolci, determina un innalzamento della salinità; l'acqua diventa perciò più densa e tende a sprofondare. In questo modo vengono richiamate, attraverso lo Stretto di Gibilterra, le acque superficiali, meno dense, dell'Oceano Atlantico; le acque dense del Mediterraneo, invece, tornano nell'Atlantico passando sotto alla corrente di entrata.

Queste differenze si osservano sia fra bacini marini distinti e comunicanti per mezzo di stretti, sia all'interno dello stesso bacino (Fig. 10); i moti orizzontali e verticali delle masse d'acqua che ne derivano vengono indicati come circolazione termoalina.

Una volta in movimento, le masse d'acqua sono deviate nel loro percorso dalla forza di Coriolis, causata dal moto di rotazione della Terra e ad esso proporzionale: verso destra (in senso orario) della direzione di avanzamento nell'emisfero boreale e verso

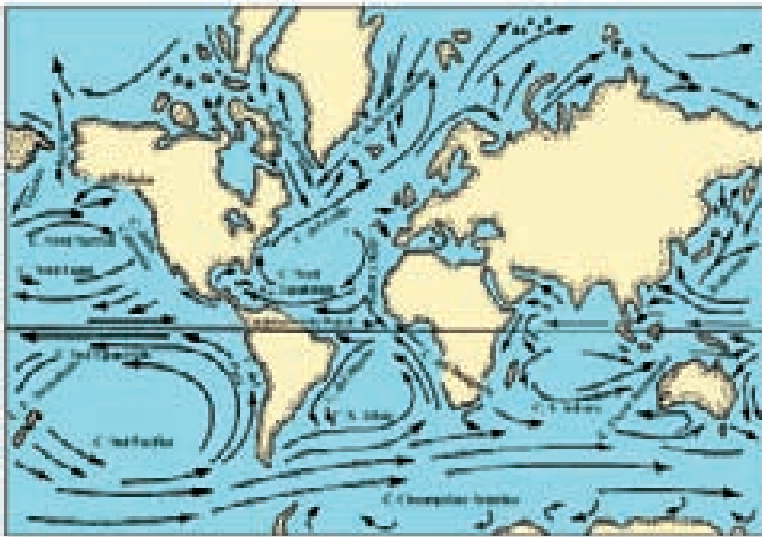


Fig. 11 - Effetto della forza di Coriolis sulle masse d'acqua.

sinistra (in senso antiorario) nell'emisfero australe, mentre all'equatore la forza si annulla (Fig. 11).

È attraverso la circolazione termoalina che le gelide acque polari sono sospinte in direzione dell'equatore e le calde acque subtropicali in direzione dei poli. Questo trasporto del "freddo" e del "caldo" tra gli emisferi boreale ed australe si realizza attraverso due importanti "nastri trasportatori", meglio noti come Conveyor atlantico e Corrente del Golfo. Quest'ultima, che regala al Nord Europa un clima relativamente mite, si è potuta impostare nell'Oceano Atlantico solo a conseguenza della formazione (avvenuta nel Pliocene Inferiore) dell'Istmo di Panama, il quale ha interrotto la circolazione tra gli oceani Atlantico e Pacifico. Oltre a giocare un ruolo fondamentale nel clima, le correnti assolvono anche il compito di incrementare la capacità dell'oceano di assorbire anidride carbonica, di trasportare il plancton che è alla base della catena alimentare e di

contribuire alla diffusione delle specie vegetali ed animali.

Dopo questa breve disamina sulle correnti oceaniche, diviene facile immaginare che cosa sia avvenuto di esse durante il Pleistocene, quando cioè si sono verificate sensibili oscillazioni climatiche in senso sia freddo che caldo. Ciò è documentato anche dallo studio di carote di ghiaccio prelevate in entrambe le regioni polari. A titolo di esempio, consideriamo una fase di riscaldamento corrispondente ad un interglaciale. Per via dello scioglimento dei ghiacci e dell'aumento delle precipitazioni, questa fase potrebbe aver

portato ad una diminuzione della salinità degli oceani, in tal modo interrompendo, rallentando o in ogni caso alterando l'andamento delle correnti oceaniche, e ciò con conseguenti impatti sull'idrosfera, sulla biosfera, sulla litosfera e sull'atmosfera. Recenti ricerche, ad esempio, denunciano un rallentamento della circolazione termoalina tra la Scozia e la Groenlandia che fa presagire conseguenze ancora difficili da valutare.

Ultimo nella trattazione di questo capitolo, anche se non meno significativo di quelli sopra analizzati, è l'effetto connesso all'isostasia. Con questo termine è definito un fenomeno di equilibrio gravitazionale che si verifica tra la litosfera (densità media di 2 o 3 g/cm³) e la sottostante astenosfera (densità media che si aggira intorno ai 5 g/cm³). In accordo con il principio enunciato da Clarence E. Dutton (1841-1912), questo fenomeno è paragonabile a quello di galleggiamento descritto da Archimede:

una massa rocciosa "galleggia" sull'astenosfera sporgendo da essa a seconda del peso e della densità. Grandiosi fenomeni di isostasia si verificano, ad esempio, durante le orogenesi, quando in determinate regioni del globo le rocce della crosta aumentano di spessore e quindi di peso. Insorgono così automaticamente aggiustamenti isostatici per stabilire un nuovo equilibrio tra la plastica astenosfera e la più

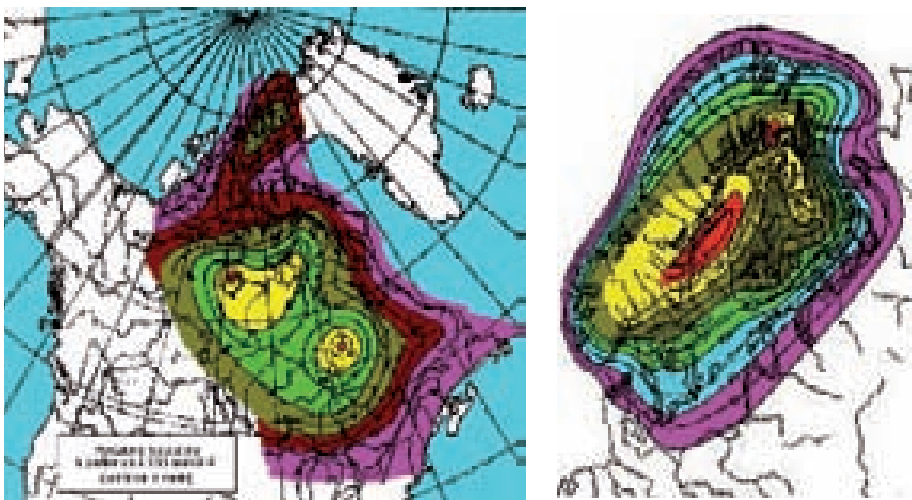


Fig. 12 - Reazione isostatica delle aree nordamericana (a sinistra) e scandinava (a destra), in seguito al dissolversi delle spesse e pesanti calotte di ghiaccio che le avevano coperte durante l'ultima glaciazione. Non essendosi ancora concluso, questo effetto di reazione è tuttora operante.

rigida crosta (o “radice”) in essa sprofondata.

Effetti isostatici sono documentabili anche in regioni interessate da sviluppo glaciale, come ad esempio quelle nordamericana, groenlandese e scandinava (Fig. 12), durante il Pleistocene più volte ricoperte da vaste e spesse (fino a 2-3 km in Scandinavia) calotte di ghiaccio. Il peso aggiuntivo dovuto a queste calotte ha ogni volta costretto le rocce di tali regioni ad affondare maggiormente nel mantello, e si suppone che l’equilibrio sia stato raggiunto quando l’abbassamento ha interessato circa 1/3 dello spessore della massa glaciale. Con l’avvento di episodi più caldi (interglaciali) i ghiacci si sono sciolti e si sono ritirati, per cui il “prisma” scandinavo e groenlandese ha ricercato l’equilibrio sollevandosi. È appunto quello che sta succedendo ancora oggi, sebbene la calotta glaciale si sia ritirata già da alcuni millenni: un “ritardo” dovuto alla viscosità del mantello, il cui comportamento è plastico ma in intervalli di tempo piuttosto lunghi. Se facciamo riferimento alla sola Penisola Scandinava, il suo sollevamento è documentato dalla presenza di spiagge marine situate a varie quote dalla costa attuale. Sulla base di questi ritrovamenti è stato possibile calcolare una velocità di innalzamento variabile tra 2 e 9 mm all’anno; per cui è prevedibile che, per tornare al suo equilibrio isostatico originario, la penisola debba continuare a sollevarsi di almeno altri 200 m.

Effetti sulla biosfera

Le alternanze di episodi glaciali ed interglaciali hanno fatto sì che le fasce climatiche subpolari, transizionali (temperate), subtropicali e tropicale del pianeta, con le flore e le faune da esse dipendenti, abbiano subito spostamenti latitudinali valutabili in centinaia di chilometri. Così, ad esempio, quando le fasce transizionali si sono spostate verso l’Equatore forme tipiche della tundra europea, come la Renna e il Lemming, si sono spinte fino alla Francia meridionale; viceversa, quando si sono espanse le fasce calde, forme come l’Ippopotamo hanno raggiunto i Paesi Bassi e la valle del Tamigi.

Per meglio evidenziare gli effetti

dei cambiamenti climatici sulle comunità biologiche (migrazioni), si riportano esempi relativi ai domini sia marini che continentali. In questi esempi ci limitiamo a considerare esclusivamente le migrazioni più significative e spettacolari, ovvero quelle in senso latitudinale.

DOMINIO MARINO

Per quanto concerne questo dominio, soprattutto nell’emisfero boreale la diversità delle faune fossili mostra di aver subito un deciso impoverimento. Quest’ultimo si produsse in modo brusco nell’Atlantico settentrionale già nel Pliocene Superiore, allorché l’instaurarsi della corrente fredda del Labrador determinò una vera e propria ecatombe di specie ad habitat caldo. Al contrario, nel Mar Mediterraneo il medesimo processo di estinzione non soltanto è avvenuto in maniera più lenta e progressiva, ma è stato altresì caratterizzato, rispetto alle province atlantiche, dal formarsi di numerose specie endemiche.

L’analisi qualitativa delle estinzioni di Molluschi nel Mediterraneo ha mostrato che la percentuale di specie scomparse fu più elevata nel Pliocene Superiore e in quello terminale che non nel Quaternario. I generi maggiormente legati a condi-



Fig. 13 - “Ospiti nordici” tra i molluschi pleistocenici del Mediterraneo. In alto, *Arctica islandica* (a sinistra) e *Mya truncata* (a destra). In basso, *Neptunea contraria* (a sinistra) e *Buccinum undatum* (a destra).

	SANTERNIANO	EMILIANO	SICILIANO
<i>Barbatia mytiloides</i>	●		
<i>Trachycardium amplissimum</i>	●		
<i>Glossirevoluta</i>	●		
<i>Nitidulites</i>	●		
<i>Flabelligerina flabelligerina</i>	●	●	
<i>Mastotator vermicularis</i>	●	●	
<i>Turritella apicata</i>	●	●	
<i>Nucula placentina</i>	●	●	●
<i>Chama placentina</i>	●	●	●
<i>Tellina corbis</i>	●	●	●
<i>Hinia merula</i>	●	●	●
<i>Urosalpinx siciana</i>	●	●	●

Fig. 14 - Estinzione progressiva di specie di molluschi ad habitat tropicale durante i tre sottopiani (Santerniano, Emiliano e Siciliano) del Calabriano (da Malatesta, 1985).

zioni di tipo tropicale o subtropicale (come *Neopycnodonte*, *Pelecypora*, *Strombus*, *Terebra*, quasi tutti i Conidi e gran parte dei Turridi) si estinsero subito per impossibilità di riproduzione e di sviluppo, mentre altri meno esigenti poterono resistere ancora per un certo tempo prima di scomparire del tutto. In effetti, questi molluschi seguirono almeno quattro “tappe” di estinzione, corrispondenti ad altrettante unità faunistiche, le ultime tre delle quali relative al Quaternario. La prima di queste è caratterizzata dalla presenza di *Chlamys scabrella*, *Pecten flabelliformis* e *Pelecypora islandicoides*. La seconda, dove queste specie non sono più rappresentate, conserva ancora un 20-30% di forme ad habitat tropicale e, nel complesso, appare molto simile alla malacofauna mediterranea attuale. La terza, di età calabriana (il piano Calabriano si suddivide nei tre sottopiani Santerniano, Emiliano e Siciliano), registra la prima comparsa nel Mediterraneo dei cosiddetti “ospiti nordici” (i più noti dei quali annoverano il foraminifero bentonico *Hyalinea baltica*, i bivalvi *Arctica islandica*, *Panopea norvegica*, *Mya truncata* e i gasteropodi *Buccinum undatum*, *B. humphreysianum*, *Neptunea contraria*) (Fig. 13); nel frattempo le specie plioceniche residue si estingueranno in maniera progressiva, fino a scomparire del tutto nel Pleistocene Medio (Fig. 14).

Allo stato attuale delle conoscenze, sembra che nelle malacofaune pleistoceniche italiane circa 45 specie possano considerarsi “ospiti nordici”; queste specie, comunque, non presentano tutte uguale diffusione ed abbon-

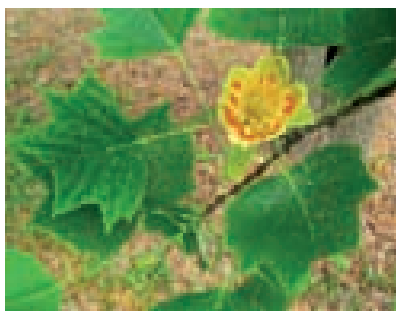
danza. Qualunque sia la loro frequenza nei nostri depositi, è in ogni caso evidente che per penetrare nel Mediterraneo ed insediarsi temporaneamente esse dovettero approfittare di particolari e transitorie condizioni ambientali; e non vi è dubbio che la prima condizione favorevole alla loro immigrazione sia stato lo slittamento verso Sud delle isoterme correlato all’espandersi delle coperture glaciali. Gli “ospiti nordici” giunsero a scaglioni e si diffusero essenzialmente nel Mediterraneo occidentale, distribuendosi solo con poche specie nell’Egeo e più ad oriente.

A confronto con quelli nordici del Calabriano gli “ospiti caldi senegalesi”, che penetrarono nel Mediterraneo con le trasgressioni connesse all’interglaciale Tirreniano (Pleistocene Superiore), costituiscono un modesto drappello di poco più di una decina di specie, la più nota delle quali rimane il gasteropode *Strombus bubonius* (Fig. 15). Se osserviamo la distribuzione attuale di queste specie, si nota che alcune di esse raggiungono al mas-



Fig. 15 - Il più celebre fra gli “ospiti senegalesi” insediatisi nel Mediterraneo durante l’ultimo interglaciale: il gasteropode *Strombus bubonius*.

simo il Tropico del Cancro, mentre altre non superano a Nord le coste del Senegal. La spiegazione si ritrova nel fatto che una corrente fredda, lambendo le coste dal Portogallo alle Canarie, permette ad alcune specie nordatlantiche di spingersi addirittura fino a Sud delle coste del Marocco; evidentemente tale corrente produce effetti opposti sulle specie tropicali, limitandone la diffusione a Nord. Se durante il suddetto interglaciale *Strombus bubonius* e *Conus testudinarius* poterono penetrare nel Mediterraneo, si deve supporre che questa corrente settentrionale non fosse ancora attiva e che lungo le coste nordoccidentali dell’Africa ne corresse un’altra di senso opposto, in grado di permettere tale propagazione.



DOMINIO CONTINENTALE VEGETALE

In questo dominio, il marcato deterioramento climatico verificatosi 2,5 milioni di anni fa è testimoniato nell’Europa settentrionale dal netto declino della foresta caldo-umida del Pliocene – con la scomparsa definitiva di un numero notevole di generi arborei cosiddetti “esotici” come la Sequoia (*Sequoia*), il Cipresso calvo o di palude (*Taxodium*) (Fig. 16), il Pino ombrellifero (*Sciadopitys*), il Platano (*Platanus*), l’Ippocastano (*Aesculus*), il Tùpelo (*Nyssa*), il Tulipifero (*Liriodendron*) (Fig. 16) e lo Storace (*Liquidambar*) (Fig. 16) – e dal concomitante estendersi di una prateria a Graminacee, Ciperacee ed Ericacee. In pratica, le sole essenze arboree rimaste diffuse nell’Europa centrale furono il Pino (*Pinus*), l’Abete rosso (*Picea*

Fig. 16 - Tre generi arborei tipici della foresta caldo-umida pliocenica: in alto, il Cipresso calvo o di palude (*Taxodium*); in basso a sinistra, il Tulipifero (*Liriodendron*); in basso a destra, lo Storace (*Liquidambar*).

e l’Ontano (*Alnus*). Nel nostro paese, dove il cambiamento climatico fu meno aspro, è riferibile a quest’epoca la foresta di Dunarobba presso Avigliano Umbro (Terni), la quale si estendeva ai bordi del vasto e non più esistente Lago Tiberino.

Per quanto riguarda il Pleistocene Inferiore, i diagrammi pollinici europei mostrano che fu caratterizzato da fluttuazioni climatiche in senso alternatamente temperato e freddo. Mentre le fasi fredde furono marcate dal puntuale ripresentarsi della prateria arida, di tanto in tanto interrotta da brevi puntate di foresta a conifere, le fasi temperate videro l’estendersi di una foresta ad Abete bianco (*Abies*), Pino, Abete

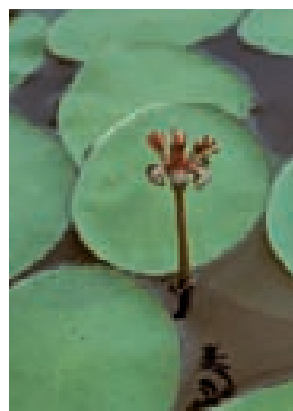
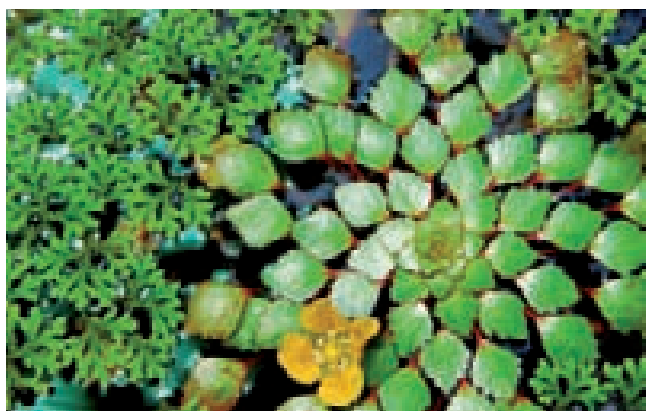


Fig. 17 - Alcune specie di piante ad habitat acquatico presenti in Europa nei momenti più caldi del Pleistocene: a sinistra, la felce *Azolla filiculoides* e la Castagna d’acqua (*Trapa natans*); a destra, la ninfea *Brasenia schreberi* (Fig. 17), la Castagna

rosso, Betulla (*Betula*), Ontano, Carpino (*Carpinus*), Nocciòlo (*Corylus*), Quercia (*Quercus*), Olmo (*Ulmus*), Tiglio (*Tilia*) ed Acero (*Acer*), cui potevano aggiungersi nei momenti più caldi specie non arboree quali la Vite selvatica (*Vitis*) e perfino ad habitat acquatico quali la ninfea *Brasenia schreberi* (Fig. 17), la Castagna



Fig. 18 - Due generi arborei “esotici”, relictivi del Pliocene, più volte ripresentatisi durante fasi temperato-calde del Pleistocene europeo: il Noce del Caucaso (*Pterocarya*) (a sinistra) e la gomma *Eucommia* (a destra).

d’acqua (*Trapa natans*) (Fig. 17), lo Stiletti o Soldato d’acqua (*Stratiotes aloides*) e la felce galleggiante Azolla (*Azolla filiculoides*) (Fig. 17). In tali momenti, anzi, nelle medesime foreste potevano tornare a presentarsi, sia pure molto ridotti in abbondanza rispetto al Pliocene, “esotici” ad affinità sia asiatica come la Tsuga (*Tsuga*), la Magnolia (*Magnolia*), il Kiwi (*Actinidia*) e la gomma *Eucommia* (Fig. 18), sia medio-orientale come la Zelkova e il Noce del Caucaso (*Pterocarya*) (Fig. 18), sia nord-americana come l’Hickory (*Carya*).

Il forte deterioramento climatico che marca l’inizio del Pleistocene glaciale rappresenta una cesura fondamentale nella storia della vegetazione europea, in quanto dopo di esso il ritmo delle oscillazioni climatiche diverrà sempre più serrato e contrastato, con episodi glaciali più freddi ed *optima* termici meno umidi dei precedenti. Gli episodi interglaciali saranno caratterizzati dallo sviluppo di foreste sia a latifoglie che a conifere paragonabili alle odierne, testimoniando perciò parametri climatici, se non identici, per lo meno molto vicini a quelli attuali, con gli “esotici” del Pliocene praticamente scomparsi per sempre dall’Europa nordoccidentale (in seguito, per la verità, alcuni di essi – come il Noce del Caucaso, la Zelkova e l’*Eucommia* – potranno tornare a presentarsi, ma soltanto in via del tutto locale, sporadica e temporanea, in concomitanza con momenti particolarmente caldi degli episodi interglaciali).

Sebbene la ripetitività delle successioni vegetali medio-pleistoceniche sia dimostrata, rimane tuttora aperta la questione del numero esatto di tali successioni. Ciò è dovuto principalmente all’estre-

ma rarità di serie sedimentarie lacustri o palustri, come quella di Tenaghi Philippon in Macedonia, in grado di fornire una storia lunga e continua. La successione pollinica greca mostra un gran numero di alternanze di fasi aride e fredde, caratterizzate soprattutto da steppe ad *Artemisia* e a Chenopodiacee, con fasi temperate più umide caratterizzate dal querceto misto (Quercia, Nocciolo, Olmo, Acero, Frassino) e da alberi meno esigenti (Pino, Ginepro, Betulla, Salice). Malgrado nel resto

dell’Europa non sia stata finora trovata alcuna sequenza di lunghezza paragonabile a quella greca, pure la scoperta, avvenuta negli ultimi decenni, di numerose successioni polliniche isolate che coprono uno o più cicli, ha dato l’avvio alla ricostruzione globale di una storia climatica del Pleistocene Medio che sembra essere stata molto complessa. In Italia, ad esempio, il deposito diatomitico di Riano presso Roma, risalente a 300.000 anni fa, testimonia una foresta molto densa interrotta qua e là da laghi ed acquitrini e caratterizzata da una notevole biodiversità, differente da quella dell’Europa centro-settentrionale e molto simile a quella attuale della regione caucasica, con l’optimum termico segnato dalla presenza del Noce del Caucaso accompagnato dalla Zelkova, dal Faggio, dalla Vite, dall’Edera e dall’Agrifoglio. Anche la sequenza di Castiglione (un lago craterico dei dintorni di Roma disseccato artificialmente), che abbraccia approssimativamente gli ultimi 250.000 anni, mostra in corrispondenza del penultimo episodio glaciale una composizione floristica sostanzialmente differente da quella dell’Europa centro-settentrionale, con una successione di tre interstadi di foresta temperata, dei quali i primi due con presenza del Noce del Caucaso, inframezzati da stadi più freddi.

Diversamente da quello del Pleistocene Medio e malgrado qualche problema cronologico, il panorama vegetale europeo del Pleistocene Superiore – includente l’ultimo interglaciale e l’ultimo glaciale – è assai ben conosciuto: tanto che è stato perfino possibile stabilire dettagliate correlazioni tra le oscillazioni climatiche risultanti dai diagrammi pollinici e quelle della curva isotopica relativa ai sedimenti di mare profondo. In Italia la sequenza di



Fig. 19 - Durante gli episodi glaciali, le tundre boreali erano popolate dal Camedrio alpino (*Dryas octopetala*), una rosacea strisciante dai caratteristici fiori bianchi ad otto petali la cui distribuzione è attualmente confinata alle sole aree di alta montagna.

Castiglione mostra, in corrispondenza dell'ultimo interglaciale, una foresta temperata a spiccato carattere mediterraneo con una netta dominanza della Quercia, dove però il Noce del Caucaso non è più presente mentre vi "resiste" la Zelkova.

Durante l'ultima glaciazione, che ebbe inizio circa 80.000 anni fa, l'Europa venne nuovamente disboscata dai venti catabatici prodotti dalle coperture di ghiaccio scandinava e britannica (con ogni probabilità separate l'una dall'altra, a differenza delle precedenti e più estese calotte glaciali del Mindel e del Riss). Le uniche eccezioni furono rappresentate da zone mediterranee costiere o di media montagna riparate e ben esposte a Sud, nonché favorevoli al mantenimento di una certa umidità, e perciò in condizioni di fungere da aree privilegiate per la sopravvivenza di alberi termofili e mesofili. Nelle regioni settentrionali si instaurò una vasta tundra a Camedrio alpino (*Dryas octopetala*) (Fig. 19), mentre in quelle centrali e meridionali dominarono steppe ad *Artemisia*, Graminacee, Efedra (*Ephedra*) e Ginepro (*Juniperus*). La demarcazione fra i due paesaggi vegetali fu rappresentata da una fascia composta da un intero mosaico di formazioni steppiche a differente composizione floristica. Mentre l'inizio del pleniglaciale fu caratterizzato dal mantenimento di una certa umidità, nonché da due o tre interstadi assai debolmente marcati da un ritorno di vegetazione arborea (si trattava, in ogni caso, delle forme meno esigenti: Betulla, Pino, Peccio, Salice e Ontano), la sua fase culminante e quella successiva furono dominate da un'aridità assai spinta (le temperature più basse vennero raggiunte intorno ai

18.000 anni fa, allorché gran parte dell'Europa si convertì in un deserto spazzato da venti gelidi). Finalmente la fase tardiglaciale, iniziata circa 15.000 anni fa, fu segnata da una riconquista dei suoli da parte del Pino e della Betulla, legata ad un complesso episodio di mitigamento climatico, l'interstadio di Bølling-Allerød, che in ogni caso fece da intervallo separatore fra due bruschi e brevi episodi di freddo intenso – denominate Dryas Inferiore (Older Dryas) e Dryas Superiore (Younger Dryas) – segnati da nuova diffusione della tundra a Camedrio alpino.

DOMINIO CONTINENTALE ANIMALE

Gli effetti dei cambiamenti climatici su questo dominio saranno qui evidenziati unicamente sulla base delle informazioni fornite dal gruppo zoologico più familiare al vasto pubblico, cioè i Mammiferi. Nelle successioni sedimentarie continentali del Pleistocene europeo, i fossili di questi animali si presentano distribuiti secondo una successione di tre "età a Mammiferi", denominate in Italia, dalla più antica alla più recente, Villafranchiano, Galeriano ed Aureliano. Mentre le prime due di queste "età" abbracciano rispettivamente il Pleistocene Inferiore ed il Pleistocene Medio eccettuate le loro parti terminali, la terza include il tetto del Pleistocene Medio e l'intero Pleistocene Superiore.

Se in ambito vegetale il raffreddamento climatico di 2,5 milioni di anni fa determinò in Europa l'estendersi della savana e della prateria a detrimento ed in sostituzione della foresta caldo-umida ad "esotici", in ambito animale ebbe luogo un fenomeno del tutto corrispondente. Quel medesimo raffreddamento, infatti, coincise con la prima comparsa di un intero contingente di specie (alloctone a più riprese dall'Asia) in gran parte idonee alla dieta erbacea e in ogni caso alla vita in ambienti nettamente più aperti ed aridi di quelli del Neogene. Tra i nuovi arrivati caratterizzanti la maggior parte della fauna villafranchiana (Fig. 20) figuravano il Mammuth (*Mammuthus primigenius* ecofenotipo *meridionalis*), un proboscicato dalle lunghe zanne incurvate e dai molari a struttura lamellare e superficie masticatoria piatta, e la Zebra dei Siwaliks o di Stenone (*Equus sivalensis* ecof. *livenzovensis*), primo equino europeo dagli arti terminanti con un solo dito. Con l'avvento del Quaternario, la fauna autoctona di eredità pliocenica – che consisteva di forme legate in buona parte ad habitat caldo-umidi quali il Tapiro dell'Alvernia (*Tapirus arvernensis*), l'equino dagli arti tridattili Ipparione (*Hipparion*

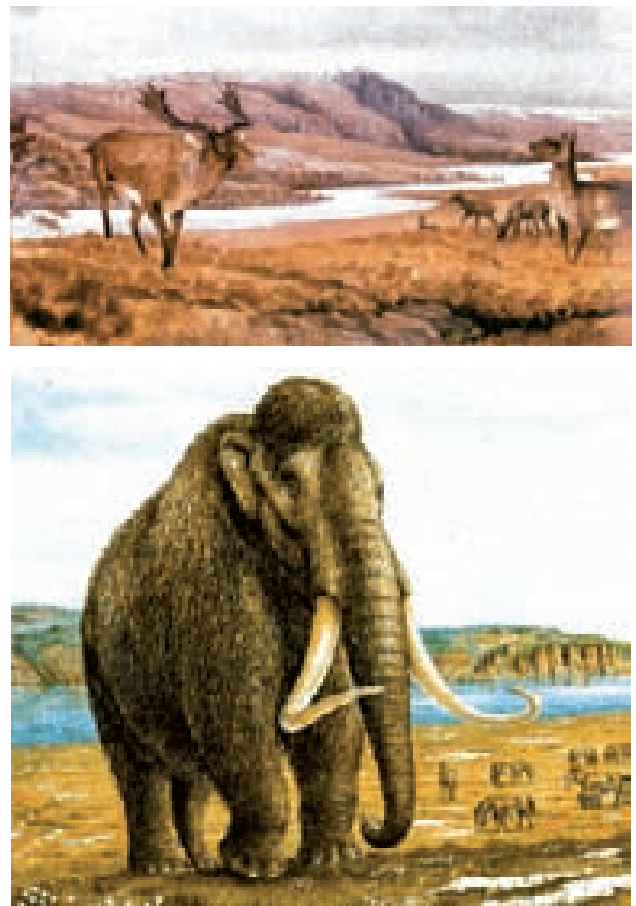


Fig. 20 - In alto a sinistra: un'istantanea di vita villafranchiana in una ricostruzione di Margaret Lambert. Osservati da alcuni coyotes o lupi di prateria europei (*Canis arnensis*), un felino dai denti a sciabola (*Megantereon cultridens*) e una iena dal muso corto (*Pachycrocuta brevirostris*) si contendono le spoglie di un cervo ramoso (*Croizetoceros ramosus*) (da Kurtén, 1972). In alto a destra: un'istantanea di vita galeriana in una ricostruzione ancora di Margaret Lambert: un maschio di megacero o cervo gigante verticorne (*Megacerooides verticornis*) con il suo harem (da Kurtén, 1972). In basso a sinistra: la forma pigmea siciliana dell'Elefante antico o eurasiatico (*Palaeoloxodon namadicus* ecof. *falconeri*), esempio di ecofenotipo endemico del Pleistocene insulare. In basso a destra: un'istantanea di vita aureliana in una ricostruzione di Peter Snowball. Un mammoth (*Mammuthus primigenius*) ed alcuni cavalli (*Equus ferus*) pascolano nella tundra siberiana durante una primavera dell'ultimo episodio glaciale (da Sutcliffe, 1985).

primigenium) e due proboscidiati dai molari a corona mammellonata o crestata idonei alla masticazione di foglie, germogli e vegetali teneri in generale, cioè il Mastodonte di Borson (*Mammuth borsoni*) dalle corte zanne ricurve e l'Ananco o Mastodonte dell'Alvernia (*Anancus arvernensis*) dalle lunghe zanne diritte – venne o immediatamente decimata o andò soggetta ad un graduale declino che in ogni caso si concluse all'inizio del Quaternario "glaciale". Parte di essa, comunque, come dimostra la successione dei numerosi differenti ecofenotipi del Rinoceronte etrusco o di Cuvier (*Stephanorhinus leptorhinus*), fu in grado di adattarsi alle fluttuazioni climatiche e poté sopravvivere fino al Pleistocene Superiore.

Nella successiva età galeriana, dopo una prima fase che può essere definita di transizione, il drastico deterioramento climatico che segnò l'inizio del Pleistocene glaciale determinò il radicale rinnovamento della fauna a mammiferi europea.

Infatti le specie villafranchiane, malgrado riuscissero in alcuni casi, come si è detto, ad adattarsi alle mutate condizioni ambientali, andarono per la massima parte estinte e vennero sostituite da una schiera di nuovi elementi provenienti ancora dall'Asia tramite successive ondate migratorie. Questi elementi includevano, tra gli altri, ulteriori ecofenotipi del Mammoth e della Zebra di Stenone, l'Elefante antico o eurasiatico dalle zanne lunghe e diritte (*Palaeoloxodon namadicus*), il Cavallo (*Equus ferus*), l'Uro (*Bos primigenius*), il Megacero verticorne (*Megacerooides solilhacus* ecof. *verticornis*) (Fig. 20), la Iena macchiata (*Crocuta crocuta*) e le forme arcaiche del Megacero gigante (*Megaloceros giganteus* ecof. *savini*), del Cervo nobile (*Cervus elaphus* ecof. *acoronatus*), dell'Alce (*Alces alces* ecof. *latifrons*), del Bisonte (*Bison bonasus* ecof. *schoetensacki*) e dell'Orso bruno (*U. arctos* ecof. *deningeri*).

L'Aureliano, infine, ha inizio con la scomparsa

sia del Megacero verticorne e della forma più arcaica del Megacero gigante, sia delle forme più primitive del Cervo nobile, in concomitanza con la definitiva apparizione della fauna di tipo attuale. Nella fauna Aureliana figurano tuttavia alcune specie che si estingueranno con l'ultima glaciazione o entro le fasi più antiche dell'Olocene: specie sia artiche, come il Mammuth lanoso tipico (*Mammuthus primigenius primigenius*) (Fig. 20), il Rinoceronte lanoso (*Coelodonta antiquitatis*) e il Megacero gigante tipico (*Megaloceros giganteus giganteus*), sia più temperate come l'Elefante antico ed il Rinoceronte di Cuvier asiatico (*Stephanorhinus leptorhinus* ecof. *kirchbergensis*). Più in particolare, le associazioni indicatrici di momenti freddi mostrano di essere le stesse attualmente viventi a latitudini e/o altitudini elevate. A causa della barriera costituita dalla catena alpina, nel nostro Paese non giunsero mai mammiferi di habitat freddo ad ampia diffusione centro-europea come il Bue muschiato (*Ovibos moschatus*), la Renna (*Rangifer tarandus*) e l'antilope Saiga (*Saiga tatarica*); tuttavia nei momenti più aridi, cioè allorché si diffusero gli ambienti aperti e si formarono i maggiori accumuli di *loess*, vi poterono immigrare il Mammuth e il Rinoceronte lanosi. Come già nel Galeriano, anche nell'Aureliano le

oscillazioni eustatiche del livello marino legate alle fluttuazioni climatiche consentirono connessioni territoriali più o meno prolungate con le isole mediterranee, le quali vennero così popolate da specie anche di grosse dimensioni (come elefanti ed ippopotami) che nel corso dei millenni vi si modificarono per via dell'isolamento, dando luogo a fenomeni di endemismo più o meno spinto non escludenti spettacolari casi sia di riduzione (Fig. 20) che di incremento di taglia.

Effetti sulle società umane

Al termine dell'ultimo episodio glaciale, circa 11 mila anni fa, iniziò l'Olocene o età attuale. Nell'arco di appena un millennio, in tutto il globo la temperatura ebbe un netto incremento di circa 5°C (Fig. 21). I corsi d'acqua acquisirono immense portate ed il livello del mare – come pure quello dei bacini lacustri, divenuti sede di accumulo di enormi quantità di detriti fluviali – incrementarono a dismisura inondando quelle stesse zone rivierasche nelle quali i cacciatori-raccoglitori della nostra specie erano soliti installare le loro dimore. D'altra parte, come nei precedenti episodi interglaciali, le favorevoli condizioni climatiche fecero

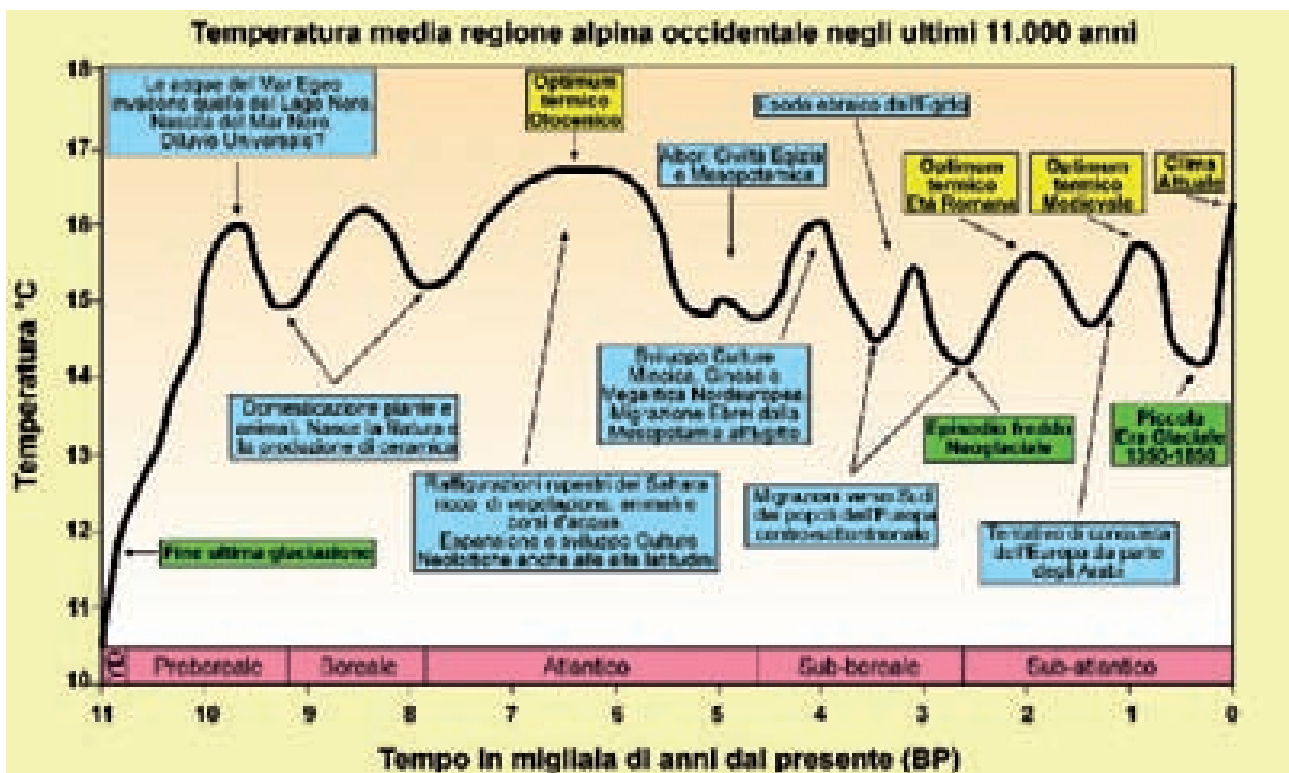


Fig. 21- Andamento approssimativo della temperatura media delle Alpi occidentali negli ultimi 11.000 anni, determinato in base alle ricerche pubblicate da vari autori – in particolare Orombelli, Lister, Hormes, Burga, Davis e Moberg – tra il 1998 e il 2005 (da Mercalli, 2009). Sono indicate le corrispondenze tra i cambiamenti climatici ed alcuni fra i principali eventi storici del Vecchio Mondo. YD = Younger Dryas.



Fig. 22- Espansione delle culture neolitiche durante l'optimum climatico.

si che le foreste tornassero ad estendersi a macchia d'olio su gran parte delle terre emerse.

Un evento particolarmente interessante, che ben si allinea con questo sensibile riscaldamento, è quello della rapida trasformazione da lago a mare, documentabile attraverso i fossili e databile intorno al 7500 a.C., del bacino oggi denominato Mar Nero. È stato infatti recentemente ipotizzato che il sensibile innalzamento di livello del Mar Egeo e la conseguente invasione delle sue acque nel Lago Nero, le cui fertili sponde permettevano il benessere e lo sviluppo delle popolazioni che vi abitavano, possa accordarsi con le tradizioni relative al "diluvio universale". Sebbene sull'evento biblico il dibattito rimanga ancora molto aperto – sia per documentarne l'esistenza in un periodo definito, sia per qualificarne il carattere planetario o di grossa alluvione locale – tale ipotesi è ampiamente sostenuta dalle ricerche portate avanti dal Lamont-Doherty Earth Observatory della Columbia University e dall'Accademia Russa delle Scienze. Certo è, comunque, che quello che circa 9500 anni fa si verificò nell'area del Lago Nero si configura come un cataclisma di enormi proporzioni, a seguito del quale le popolazioni scampate dovettero migrare in altri territori. Una di queste popolazioni, rappresentata dai Sumeri, si trasferì nella regione solcata dal Tigri e dall'Eufrate, ove insieme alle tecniche agrarie acquisite portò il ricordo

dell'immane tragedia che nel tempo assumerà sempre più i contorni del mito.

Oltre che nel Vicino Oriente, indizi di domesticazione di piante e animali sono presenti tra 10.000 e 7.000 anni fa anche nella valle dell'Indo. E a questo processo, che portò all'evolversi dell'agricoltura mista, va altresì associato lo sviluppo di alcune attività manuali come la filatura e la produzione di ceramiche, le quali gradualmente si espansero verso occidente e verso Nord fino alle Isole Britanniche ed alla Scandinavia.

L'optimum climatico, che si verificò tra 7.000 e 6.000 anni fa, fu caratterizzato da temperature medie che nell'area alpina occidentale erano poco meno di 1 grado superiori a quelle attuali. Per l'estendersi progressivo delle foreste, i nostri predecessori videro così ridursi gli spazi aperti per la caccia e furono obbligati, per assicurarsi la sopravvivenza, ad abbandonare la vita nomade a regime venatorio per adottare quella stanziale a regime agricolo. Fu il momento epocale che segnò l'espansione e lo sviluppo delle culture neolitiche (Fig. 22).

La fusione, connessa all'optimum climatico, della maggior parte della residua copertura glaciale boreale fece innalzare gli oceani di 3-4 metri sopra i livelli attuali, sommergendo così molte zone costiere del Nord Europa. Al medesimo tempo le umide correnti d'aria occidentali, che prima di allora avevano interessato unicamente le medie latitudini, si



Fig. 23- Veduta satellitare del Sahara in cui sono osservabili i letti asciutti dei corsi d'acqua (wadi) che lo incidavano durante l'optimum climatico.

spinsero molto più a Sud causando copiose precipitazioni anche sulla fascia adiacente all'equatore. Ciò fece sì che il Sahara divenisse ricco di vegetazione e le favorevoli condizioni climatiche di quel periodo sono documentate dagli alvei sabbiosi di antichi corsi d'acqua (*wadi*) (Fig. 23) e dalle numerose raffigurazioni rupestri di uomini, animali domestici, gazzelle, struzzi, giraffe, dromedari ed elefanti rinvenute *in loco* (Fig. 24).



Fig. 24 - Esempio di pittura rupestre sahariana, dal sito algerino di Jabbaren-Djanet.

A partire da circa 6.000 anni fa, invece, subentrò una fase progressiva di lento raffreddamento – seppure caratterizzata da fluttuazioni di temperatura dell'entità di 1-2°C – testimoniata in Europa da un sensibile ritirarsi verso Sud del querceto misto e dal progressivo diffondersi in altitudine del Faggio, dell'Abete bianco e di quello rosso. Questo *trend* si invertirà in maniera significativa soltanto nella seconda metà del XIX secolo, fino a raggiungere un massimo di riscaldamento nell'epoca odierna sia per cause naturali che per l'incremento dei gas serra dovuto al generale e crescente sviluppo dell'attività industriale.

I primi effetti vistosi di questo raffreddamento climatico si manifestarono intorno a 5.000 anni fa. Nelle alte latitudini europee il freddo intenso determinò una battuta di arresto nelle civiltà che vi si erano sviluppate durante l'*optimum* climatico. Al contrario, le civiltà egizia e mesopotamiche videro i loro albori appunto in questo periodo, caratterizzato nelle valli del Tigri, dell'Eufrate e del Nilo da gradevoli temperature e da costanti precipitazioni.

Poi, intorno a 4.000 anni fa, la temperatura ebbe un temporaneo guizzo verso l'alto, cosicché le condizioni climatiche ottimali, e con esse il pendolo della civiltà, si propagarono verso Nord interessando tutte le regioni delle latitudini medie, dove fiorirono grandi culture come quelle minoica, cinese e megalitica nordeuropea (di cui Stonehenge costituisce una fra le testimonianze più tangibili). Il riscaldamento del pianeta, comunque, portò ad una riduzione della piovosità in numerose aree tropicali quali la vasta pianura dell'Indo, che in precedenza era stata ricoperta da vegetazione (nell'attuale deserto del Rajasthan sono ancora visibili tracce di fiumi successivamente prosciugatisi). Indebolita e resa vulnerabile dalle carestie legate alla siccità, la fiorente civiltà che si era sviluppata in quella pianura divenne così facile preda dei caucasici Arii. Sempre a causa della siccità, intorno ai 4.000 anni fa gli Ebrei furono costretti a migrare dalla Mesopotamia verso l'Egitto, da dove poi comunque, circa 700 anni dopo, quando la siccità si estese anche alle rive del Nilo, dovettero affrontare il biblico "esodo" verso la Palestina.

Fra 3.500 e 2.500 anni fa il clima della Terra divenne nuovamente più rigido e piovoso. L'Europa centro-settentrionale ed orientale fu così teatro di massicce migrazioni di popoli verso più basse latitudini per sfuggire sia al freddo che, soprattutto, a devastanti alluvioni (Fig. 25). L'incremento del freddo e del livello dei laghi decretarono la fine anche di gran parte degli insediamenti alpini.

A partire da circa 2.500 anni fa, la temperatura tornò a salire e le favorevoli condizioni climatiche perdurarono fino al XIII secolo circa. Non è perciò un caso che appunto in questo tratto di tempo



Fig. 25 - Le massicce migrazioni di popoli verso il meridione verificatesi 3.500-2.500 anni fa.

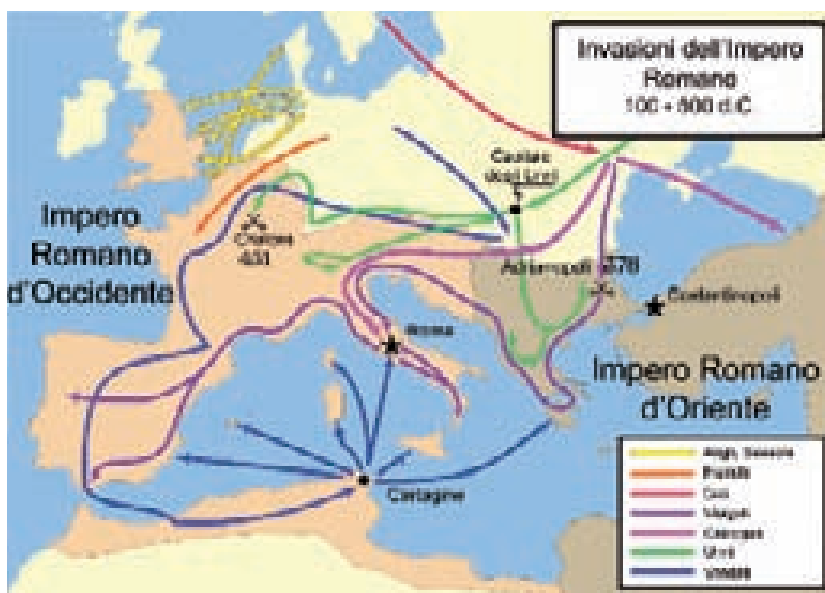


Fig. 26 - L'invasione dell'Impero Romano da parte delle popolazioni barbariche.

siano fiorite grandi civiltà quali la greco-romana nell'area mediterranea, l'impero Maurya in India e quello cinese della dinastia Ch'In. Le popolazioni del Nord-Africa e del medio Oriente incorporate dai Romani potrebbero essere state indebolite dalla crescente siccità che iniziò ad affliggere le aree che si affacciavano sul Mediterraneo meridionale e che, intorno a 1.600-1.700 anni fa (300-400 d.C.), trasformò in sabbia le terre che i Romani amavano definire come "il granaio dell'Impero". Nello stesso periodo il deserto si appropriò di altre vaste regioni del globo quali la valle del Tarim nel Sinkiang, già attraversata dall'antica "rotta della seta" e percorsa dalle carovane di mercanti che in precedenza facevano la spola tra la Cina e il Mediterraneo.

Il miglioramento del clima alle latitudini medio-alte spostò verso Nord il baricentro della civiltà. Costretti ad abbandonare il Kanshu e l'attuale deserto di Gobi a seguito di una prolungata siccità che distrusse i pascoli dell'Asia centrale, gli Unni raggiunsero la Pannonia (l'odierna Ungheria), da cui 1.558 anni fa, nel 452 d.C., Attila sferrò l'attacco a Roma (Fig. 26). Nel frattempo, le favorevoli condizioni climatiche apportavano crescente prosperità alle popolazioni dell'Europa centrale e del Baltico: Ostrogoti, Visigoti, Vandali e Longobardi. La necessità di reperire altre risorse a seguito del rapido aumento della popolazione determinato dal benessere, fu con ogni probabilità il principale stimolo che condusse all'invasione di un Impero Romano già fortemente indebolitosi al proprio interno.

Se circa 1.300 anni fa ebbe inizio anche il tenta-

tivo di conquista dell'Europa da parte degli Arabi, indotti a lasciare le loro terre ormai afflitte da persistente siccità, le civiltà nordeuropee raggiunsero il loro culmine tra l'800 e il 1.200 d.C. Lo scioglimento dei ghiacci aveva infatti portato prosperità e benessere ai popoli della penisola scandinava: tanto che i Vichinghi, da abili navigatori quali erano, raggiunsero ed invasero tutti i territori loro limitrofi come quelli russo, francese e britannico. Nell'874 e nel 982 d.C., anzi, essi colonizzarono l'Islanda e scoprirono la Groenlandia; e non vi è motivo di dubitare che, partendo appunto da

quest'ultima, siano stati in grado di spingersi anche fino al Nordamerica.

Tra il 1.205 e il 1.225 d.C., l'annunciarsi di un nuovo deterioramento climatico indusse Gengis Khan a muovere i suoi eserciti verso il Sud della Russia, l'Indo e le porte di Pechino. Poi, fra il 1.300 e il 1.400 d.C., i ghiacci accelerarono la loro avanzata verso Sud ed ebbe inizio un periodo tra i più duri della storia dell'uomo, noto come "Piccola Era Glaciale", che si mantenne ininterrottamente fino alla metà del secolo XIX (Fig. 27). Un po' in tutta Europa, il freddo e le intense piogge estive flagellarono i raccolti e le popolazioni furono falciate dalla carestia e dalla peste nera. Nel 1450 d.C. il freddo decimò tutti gli abitanti della Groenlandia (l'evento fu conosciuto soltanto mezzo secolo dopo a causa delle difficoltà di collegamento con tale regione), mentre quelli dell'Islanda furono più fortunati, sebbene con una drastica riduzione della popolazione. Il ritorno del grande freddo portò anche al completo congelamento del Mar Baltico e all'avanzata dei ghiacciai delle Alpi, con la conseguente chiusura definitiva di molti passi che fino ad allora erano regolarmente interessati da intensi traffici.

Dopo la "Piccola Era Glaciale", la temperatura riprese a crescere e la ripresa si è protratta fino ai giorni nostri (Fig. 21). Questo miglioramento climatico ha determinato un'accelerazione senza precedenti nella storia dell'Uomo, in termini di benessere, prosperità, incremento demografico e progresso tecnologico. E non è forse un caso che la moderna civiltà abbia preso pieno sviluppo appunto durante questo periodo.



Fig. 27 - Un momento della “Piccola Età Glaciale” documentato dal pittore paesaggista olandese Hendrick Avercamp (1585-1634). La scena riporta alla vita in maniera efficace il trambusto, i giochi all’aperto e i passatempi di pattinaggio sui canali navigabili congelati di quel periodo.

Cosa succederà nel futuro?

Attualmente il ghiaccio copre circa 15 milioni di km² di terra emersa, dei quali più di 13 occupati dalla sola Antartide, 1,8 dalla Groenlandia e il residuo dai ghiacciai dispersi nelle varie catene montuose di tutto il globo. Poiché il volume totale dei ghiacci attuali è stimato oscillare fra 1,5 e 3,7 milioni di km³, un suo eventuale scioglimento produrrebbe un innalzamento di livello degli oceani da 20 a 60 m. Per contro, si calcola che durante le fasi più rigide del Pleistocene i ghiacci abbiano coperto oltre 45 milioni di km² di terra emersa, con un corrispondente abbassamento del livello marino superiore a 150 m. D’altra parte, poiché i numerosi episodi di espansione glaciale del Quaternario sono stati regolarmente intercalati da episodi interglaciali più caldi, includenti quello in cui oggi viviamo, non c’è motivo di ritenere che nel futuro la storia geologica non continui a procedere nello stesso modo. Sorge dunque spontanea e legittima la domanda se sia possibile avanzare previsioni di una qualche attendibilità sui cambiamenti climatici dei decenni futuri, se non altro allo scopo di riflettere su come affrontarli.

A questa domanda, noi crediamo si debba rispondere unicamente così: “Tutto dipenderà dal tipo e dall’entità dei mutamenti che potranno verificarsi.”

CAMBIAMENTI CLIMATICI CHE SEGUONO UN *TREND* NATURALE POTENZIATO DA GAS SERRA DI ORIGINE ANTROPICA

La valutazione dei cambiamenti climatici di questo tipo è assai complessa, in quanto implica la

conoscenza degli effetti dei parametri astronomici e terrestri (per il *trend* naturale), nonché quella delle concentrazioni dei gas serra immessi nell’atmosfera dall’attività antropica. A questo proposito, sebbene molti siano stati i risultati finora ottenuti, il grado di incertezza di questi ultimi rimane ancora enorme in quanto le variabili in gioco e le loro conseguenze sono troppo numerose e difficili da modellizzare. Ciò che i modelli di simulazione pre-

vedono, insomma, è ancora troppo poco preciso per poter rivelarsi utile in termini di azione politica.

Stando alle stime dei climatologi dell’Intergovernamental Panel on Climatic Change (IPCC), in assenza di misure di contenimento e/o riduzione delle emissioni e delle concentrazioni, entro la fine di questo secolo la temperatura media globale della Terra aumenterà di 2°C. Accanto a tale scenario, ritenuto più probabile, la medesima istituzione si è comunque premunita proponendone altri due: uno più cauto, in cui l’incremento di temperatura potrebbe essere di solo 1°C, e uno più estremo, con un incremento di ben 3,5°C. Per fare queste proiezioni, i climatologi fanno uso di modelli matematici particolarmente complessi chiamati General Circulation Models (GCM), i quali funzionano solo su calcolatori molto potenti e si sforzano di riprodurre tutte le nostre conoscenze sulle interazioni dei fattori climatici. Il dettaglio geografico di questi modelli rimane in ogni caso piuttosto basso, e questa è una delle ragioni per cui i risultati ottenuti possono valere solo per ampie regioni del pianeta e non per singoli Stati.

La differenza tra un riscaldamento globale di 1°C e uno di 3,5°C è davvero enorme: tanto che per trovarne una simile, seppure di segno opposto, dobbiamo riferirci all’acme dell’ultima glaciazione, quando la temperatura media era di 3,4°C inferiore a quella attuale. Si deve comunque considerare che, mentre i livelli del cambiamento in termini di differenze di temperatura risultano comparabili, non lo sono affatto i tempi necessari al suo insorgere: infatti, l’ultima glaciazione ha occupato migliaia di anni, mentre i possibili effetti dell’odierno cambiamento climatico si realizzerebbero in appena un secolo.

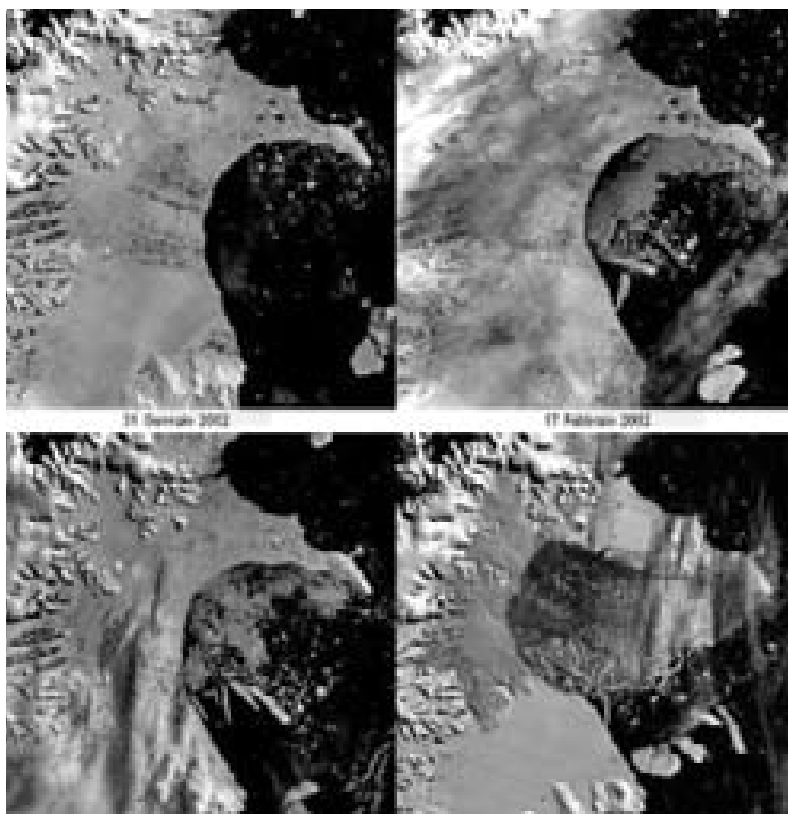


Fig. 28- Foto satellitari scattate sull'Antartide all'inizio del 2002 rivelano che in poco più di un mese la sezione settentrionale della piattaforma Larsen B si è disintegrata e separata dal continente. Fonte: Immagine Spettroradiometrica a Risoluzione Moderata (MODIS), NASA Terra Satellit, National Snow and Ice Data Center, University of Colorado.

Secondo alcuni climatologi le fluttuazioni di temperatura della Terra lungo tutto il corso della sua storia dipendono, molto più che dalla concentrazione dei gas ad effetto serra atmosferici, da fluttuazioni dell'attività solare. Una qualche relazione fra l'intensità di quest'ultima – per lo più messa in rapporto con la variazione ciclica undecennale del numero di “macchie” che si formano nella cromosfera solare e valutata dell'ordine dello 0,1% – ed i cambiamenti climatici è sempre stata riconosciuta, però è stata finora ritenuta molto meno importante di quella legata alla fluttuazione delle concentrazioni dei suddetti gas. Sarebbe in ogni caso del tutto irragionevole escludere la possibilità che esistano cicli di attività solare più ampi ed intensi di quello undecennale sopra menzionato. D'altra parte, dal Sole vengono emessi non soltanto calore e luce visibile, ma anche un “vento” di radiazione non visibile – ultravioletta (che scontrandosi con l'ossigeno atmosferico dà origine allo scudo di ozono), di raggi X, di neutrini e molte altre “particelle elementari”) – destinato ad interagire con il campo magnetico terrestre assieme alla radiazione cosmica da esplosioni stellari nello spazio profondo o galattico.

Comunque sia, se decidiamo di non tener conto dei fattori la cui influenza risulta ancora troppo incerta, è possibile prospettare per il prossimo futuro effetti praticamente sicuri ed effetti altamente probabili.

Effetti *praticamente sicuri* possono essere considerati i quattro elencati qui di seguito:

- un ulteriore incremento della temperatura media, del resto già cresciuta di mezzo grado centigrado negli ultimi 100 anni. Tale incremento, in ogni caso, non potrà essere omogeneo in quanto ciascuno dei gas serra ha un suo proprio e differente *global warming potential* (e senza tener conto dell'emissione naturale, in quantità variabile, di altri gas come l'anidride solforosa, la quale esercita un fenomeno opposto, cioè di raffreddamento anziché di riscaldamento dell'atmosfera). Comunque sia, è certo che un innalzamento delle temperature medie dei mari avrebbe ricadute importanti sull'intera catena alimentare marina; d'altra

parte, molte specie animali rischiano la sopravvivenza per il semplice fatto che sono inadeguate a vivere a temperature superiori (a causa delle alterazioni del loro habitat, ad esempio, alcune popolazioni di pinguini sono già diminuite del 33%);

- un incremento di fenomeni di pioggia su scala planetaria, in quanto una temperatura più alta determina una maggiore evaporazione dell'acqua;
- una sensibile riduzione delle coperture di ghiaccio polari, con una conseguente diminuzione della loro albedo o grado di riflessione della luce solare. A supporto di questa previsione si ricordano alcuni eventi significativi recentemente documentati in entrambi gli emisferi. Uno di essi riguarda “Larsen B”, una piattaforma di ghiaccio antartico di 500 miliardi di tonnellate che nel 2002 si è disintegrata in meno di un mese (Fig. 28). Un altro è relativo al ritiro complessivo dei ghiacci antartici, che negli ultimi cinque anni sembra corrispondere, secondo il British Antarctic Survey, ad una perdita media di 50 metri all'anno. Un altro ancora è dato dal ghiacciaio di Kangerdlugssuaq nella costa orientale della Groenlandia il quale, dopo aver mantenuto condi-

zioni stabili per almeno 40 anni, dal 2001 si è ritirato di ben 5 chilometri;

- un innalzamento del livello dei mari dovuto ad una triplice causa: (a) espansione fisica degli oceani causata dall'aumento della temperatura; (b) maggiore quantità d'acqua da apporto fluviale dovuta all'incremento delle precipitazioni; (c) aumento del volume d'acqua derivante dallo scioglimento dei ghiacci. Mentre la prima di queste cause è calcolabile in modo preciso, la seconda può prestarsi a previsioni, mentre la terza è destinata a sussistere entro grandi margini di incertezza (se, ad esempio, azzardassimo un'ipotesi di scioglimento totale dei ghiacci dell'intera Groenlandia, potrebbe determinarsi un innalzamento dei mari di circa 6 metri) (Fig. 29). Valutando unicamente gli effetti (a) e (b) si può prevedere entro il 2100 un innalzamento del livello marino compreso tra i 5 e i 40 cm.

Quanto ad effetti da considerarsi *altamente probabili*, possiamo delinearne almeno due:

- malgrado l'incremento di piogge su scala mondiale, è ragionevole prevedere che per alcune aree del pianeta, in determinate stagioni, l'effetto netto si traduca in un'aumentata siccità, soprattutto nell'emisfero boreale durante l'estate. Fino a che punto, comunque, una determinata regione possa diventare più arida dipenderà anche da molti altri fattori (quali ad esempio il grado di copertura vegetale regionale o lo scambio d'aria umida che avviene nelle fasce più alte dell'atmosfera, ecc.) che non siamo in grado di prevedere con esattezza;

- è altresì ragionevole prevedere che, in seguito

all'incremento delle precipitazioni su scala globale, tutta l'acqua dolce aggiunta al ciclo delle acque esistenti finisca per alterare la circolazione oceanica, a sua volta condizionante il clima. Il Mare Artico e la parte settentrionale dell'Oceano Atlantico, ad esempio, potrebbero scaldarsi meno rapidamente della media degli oceani a causa della presenza di terre emerse circostanti che impediscono il mescolamento di acque più calde con acque più fredde. Paradossalmente, quindi, l'incremento globale di temperatura potrebbe anche portare ad accrescimenti delle coperture di ghiaccio polari.

CAMBIAMENTI CLIMATICI IMPROVVISI DOVUTI AD EVENTI CATASTROFICI

Nella prospettiva di cambiamenti climatici insorgenti all'improvviso, in quanto causati da impatti di comete/asteroidi o da masse di plasma prodotte da esplosioni nel Sole o in altre stelle della Galassia, la possibilità di sopravvivenza dell'umanità dipenderà unicamente dall'entità dei cambiamenti medesimi. È assai probabile, del resto, che già nel passato l'umanità sia stata drasticamente ridotta da eventi di questo tipo.

All'argomento è dedicato da uno di noi uno spazio specifico nella rubrica "Il punto della situazione".

Opere consultate

Alley R.B. (2000) – *The two-mile time machine. Ice cores, abrupt climate change, and our future*. 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.

Berner R.A. & Lasaga A. (1989) – *Un modello del ciclo geochimico del carbonio*. *Le Scienze*, 249 (*Le Scienze Quaderni*, 104: 40-47, 1998).

Birks H.J.B. & West R.G. (eds.) (1975) – *Quaternary plant ecology*. Blackwell, London.

Bowen D.Q. (1978) – *Quaternary geology*. Pergamon Press, Oxford.



Fig. 29 - Nel futuro le fondamenta, le calli e le logge di Venezia diventeranno luoghi frequentati dagli squali?

- Broecker W.S. (1996) – *Il clima caotico*. Le Scienze, 329 (Le Scienze Quaderni, 104: 28-33).
- 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. (1990) – *I fattori di controllo dei cicli glaciali*. Le Scienze, 259 (Le Scienze Quaderni, 104: 20-27, 1998).
- Caserini S. (2008) – *A qualcuno piace caldo. Errori e leggende sul clima che cambia*. Edizioni Ambiente, Milano.
- Charlson R.J. & Wigley T.M.L. (1994) – *Aerosol solforici e clima terrestre*. Le Scienze, 308 (Le Scienze Quaderni, 104: 62-69, 1998).
- Citizen P. (2005) – *Benvenuti nell'Antropocene*. Mondadori, Milano.
- Fagan B. (2005) – *La lunga estate. Come le dinamiche climatiche hanno influenzato la civilizzazione*. Codice Edizioni, Torino.
- 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.
- Ferrara V. & Farruggia A. (2007) – *Clima: istruzioni per l'uso. I fenomeni, gli effetti, le strategie*. Edizioni Ambiente, Torino.
- Flannery T. (2006) – *I signori del clima. Come l'uomo sta alterando gli equilibri del pianeta*. Corbaccio, Milano.
- Follieri M. & Magri D. (1998) – *Paesaggi vegetali del Quaternario in Italia centrale*. *Biogeographia*, 19: 57-68.
- Follieri M., Magri D. & Sadori L. (1986) – *Late Pleistocene Zelkova extinction in Central Italy*. *New Phytol.*, 103: 269-273.
- Follieri M., Magri D. & Sadori L. (1988) – *250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma)*. *Pollen et Spores*, 30 (3-4): 329-356.
- Guiot J., de Beaulieu J.L., Cheddadi R., David F., Poneil P. & Reille M. (1993) – *The climate in Western Europe during the last Glacial/Interglacial cycle derived from pollen and insect remains*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103: 73-93.
- Hansen J. (2004) – *Riscaldamento globale: una bomba da disinnescare*. Le Scienze, 428: 68-79.
- Jones P.D. & Wigley T.M.L. (1990) – *La Terra tende a riscaldarsi?* Le Scienze, 266 (Le Scienze Quaderni, 104: 54-61, 1998).
- Karl T.R., Nicholls N. & Gregory J. (1997) – *Effetti antropici sul clima globale*. Le Scienze, 347 (Le Scienze Quaderni, 104: 70-75, 1998).
- Kurtén B. (1972) – *The ice age*. Rupert Hart-Davis, London.
- Lanza A. (2000) – *Il cambiamento climatico*. Il Mulino, Bologna.
- Malatesta A. (1985) – *Geologia e paleobiologia dell'era glaciale*. La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Mazzanti R. (1983) – *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e l'arcipelago di Toscana*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 102: 419-556.
- Mazzanti R. (2008) – *Elementi per la storia del clima in Toscana dal Miocene all'Olocene*. Felici Editore, Ghezzano (Pisa).
- Mazzei R. & Pozzi M. (2009) – *Le oscillazioni climatiche del Quaternario, con un modello concettuale dei fattori determinanti*. *Etrurianatura*, 6: 48-61.
- Mercalli L. (2009) – *Che tempo che farà*. Rizzoli, Milano.
- Navarra A. & Pinchera A. (2002) – *Il clima*. Laterza, Roma.
- Nilsson T. (1983) – *The Pleistocene. Geology and life in the Quaternary ice age*. Reidel Publishing Co., Dordrecht.
- Ruddiman W.F. (2005) – *Quando iniziammo ad alterare il clima*. Le Scienze, 441: 46-53.
- Schneider S.H. (1987) – *Simulazioni climatiche al calcolatore*. Le Scienze, 227 (Le Scienze Quaderni, 54: 55-62, 1990).
- Schneider D. (1997) – *Crescerà il livello del mare?* Le Scienze, 345 (Le Scienze Quaderni, 104: 84-89, 1998).
- Sutcliffe A.J. (1985) – *On the track of ice age mammals*. British Museum (Natural History), London.
- Watts W.A. (1985) – *A long pollen record from Laghi di Monticchio, southern Italy: a preliminary account*. *J. geol. Soc. London*, 142: 491-499.
- West R.G. (2000) – *Plant life in Quaternary cold stages: evidence from the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge.

Orologi solari: storia e segreti della misura del tempo

Nicola Ulivieri

Gruppo Gnomonisti Toscani, Str. Prov. di Casciano - 53016 Casciano di Murlo (SI)
ulivinico@gmail.com

Sempre più raramente può capitare di scovare un orologio solare su una parete di un vecchio edificio o di una chiesa e, in quei pochi casi, lo strumento è generalmente mal restaurato o semidistrutto, consumato da quel tempo che avrebbe dovuto indicare ma da cui, come una legge del contrappasso, è invece segnato. In quei rari casi in cui possiamo leggere l'ora, eseguiamo in genere un gesto istintivo, automatico, che è quello di girare il polso e confrontare la lettura data dall'ombra dell'asticella della meridiana con quella del nostro orologio meccanico, o al quarzo. Verificato che le ore non coincidono, deduciamo che l'orologio solare non funziona, scuotiamo la testa e ce ne andiamo, dando erroneamente per scontato che la modalità di misura dei due tempi sia la stessa. Ma c'è anche chi, affascinato dallo strumento solare, si sente stimolato a saperne di più, scoprendo allora che esistono molti tipi di ore di cui ci stiamo dimenticando.

Fin dall'antichità, gli astri hanno sempre affascinato e influenzato la vita dell'uomo con fenomeni sconcertanti ma spettacolari, come le eclissi e il passaggio di comete o, semplicemente, con l'alternarsi del giorno e della notte e le fasi lunari. Astri e pianeti, così come il giorno, la notte, il tempo, sono stati rappresentati come divinità da molti popoli. Particolari allineamenti dei corpi celesti venivano ritenuti responsabili di eventi terreni ed è sempre esistito l'interesse a prevederli, soprattutto quelli che si ritenevano preannunciare sventure, come le eclissi.

Per quanto riguarda il Sole, l'interesse è sempre



Fig. 1 - Un orologio solare, oltre a fornire informazioni sul tempo, valorizza l'edificio su cui è posto e genera un momento di riflessione nel passante che lo osserva.

stato ancor maggiore, in quanto esso determina la durata del giorno e della notte e l'alternarsi delle stagioni, imponendo ritmi di vita alle piante, agli animali e all'uomo. Molti popoli hanno venerato l'astro solare come una divinità e del suo culto troviamo tracce in molte religioni, come anche nel Cristianesimo. Ad esempio, la festività del Natale, che conosciamo come il giorno della nascita di Gesù, trae origine dalle celebrazioni pagane della rinascita del Sole, in quanto il 25 dicembre è il giorno in cui la durata del periodo diurno torna ad allungarsi apprezzabilmente dopo il giorno più corto dell'anno, il solstizio d'inverno (21 dicembre). Risulta in effetti che la durata del giorno si mantiene senza variazioni significative nei tre giorni successivi al solstizio, come se l'escursione stagionale del Sole si fosse fermata e la divinità che esso rappresentava fosse morta, sconfitta dalle tenebre. Il termine *solstizio* deriva proprio da questa osservazione antica di millenni, dal latino "*solstitium*" che significa letteralmente "sole fermo".

Si comprende, quindi, come sia sempre esistita la necessità di uno strumento che fosse in grado di indicare in quale istante del giorno e dell'anno ci trovassimo, uno strumento, cioè, che indicasse la posizione del Sole nella Volta Celeste. L'idea più semplice ed efficace è, senza dubbio, quella di ricorrere all'ombra che un qualsiasi oggetto proietta su una superficie ed osservare come variano nel tempo la sua lunghezza e direzione nel tempo. Gli uomini hanno iniziato queste osservazioni



Fig. 2 - *Hemicyclum* sferico ritrovato nel complesso archeologico di Vulci. Sono visibili le linee orarie (VII-XVII), quelle dei solstizi e degli equinozi. Al centro è presente una cavità profonda in cui era posto lo stilo.

sicuramente da tempi immemorabili, ma è con gli Egizi che, da migliaia di anni avanti Cristo, si inizia a misurare il tempo ed a controllare il calendario, probabilmente facendo uso degli obelischi, anche se non esistono documentazioni certe a riguardo. A questo popolo si deve l'istituzione dell'anno di 365 giorni, la divisione del giorno in 24 ore e del periodo diurno in 12 ore. Queste consuetudini si diffusero in Grecia attraverso i Babilonesi, ai quali dobbiamo un'altra convenzione usata ancora tutt'oggi: la divisione dell'ora in 60 parti, scelta sicuramente dovuta alla facile divisibilità per 2, 3, 4, 5, 6 e 12. Le prime notizie di strumenti atti ad indicare il trascorrere del tempo per mezzo delle ombre ci vengono da questi popoli. Intorno al 1450 a.C. fece la sua comparsa, in Egitto, uno strumento portatile a forma di L, considerato il più antico orologio solare noto e che il faraone Thutmosis III teneva con sé nei suoi viaggi. Un'altra antica notizia la troviamo nella Bibbia, dove si parla dell'orologio solare del re Achaz, regnante in Giudea attorno al 750 a.C.: «*Ecco, io faccio tornare indietro di dieci gradini l'ombra sulla meridiana, che è già scesa con il Sole sull'orologio di Achaz». E il Sole retrocesse di dieci gradi sulla scala che aveva disceso.*» (Isaia 38,8). Non si conosce nulla di questo strumento tranne l'unica certezza fornita dal testo, che l'orologio solare fosse a gradini.

Le invenzioni si susseguono nei secoli con strumenti che assumono ogni forma, tipo e dimensione. La scienza che si occupa del loro studio è la gnomonica (dal greco “gnòmon”, che vuol dire

indicatore) il cui inizio viene generalmente identificato con il periodo di Anassimandro di Mileto (610-546 a.C.), il quale, nel 560 a.C., installava a Lacedemone (Sparta) un orologio solare di cui, purtroppo, ignoriamo la natura. Tra le più antiche invenzioni degne di nota troviamo l'*hemispherium*, uno strumento costituito da una cavità emisferica all'interno della quale erano riportate le linee delle 12 ore e gli archi dei solstizi ed equinozi; lo stilo (l'asticella la cui estremità dell'ombra indicava l'ora) aveva lunghezza pari al raggio della semisfera ed era posizionato sul fondo di questa, in posizione verticale. L'*hemispherium*, man mano che si diffondeva in Grecia e nell'impero romano, subì nel corso dei secoli piccole trasformazioni funzionali che non ne alteravano il principio di funzionamento ma lo alleggerivano delle parti inutili, eliminando quelle parti dove l'ombra non cadeva mai. Lo stilo fu collocato nella parte superiore in posizione orizzontale e il nuovo strumento fu chiamato *hemicyclum* (Fig. 2).

La rivoluzione della gnomonica occidentale si ebbe durante il periodo delle crociate, quando fecero la loro comparsa le meridiane in cui lo stilo era orientato in modo parallelo all'asse terrestre (stilo polare), permettendo la progettazione di quadranti solari in cui le linee orarie sfruttavano l'intera ombra dello stilo, e non solo quella della sua sommità,



Fig. 3 - Orologio solare con stilo polare posto su un edificio di Lucignano d'Arbia (SI). Sebbene lo strumento necessiti di essere restaurato, vi si possono ancora leggere le ore vere del luogo, le linee dei solstizi e l'equinoziale.

come accadeva negli orologi precedenti. Fu un'invenzione fondamentale che dobbiamo al mondo arabo, che non aveva dimenticato gli insegnamenti dei Greci e che ci ha lasciato diverse opere di gnomonica nel periodo tra il IX e il XIV secolo. Con l'ideazione dello stilo polare, si era ormai giunti ai più alti livelli di conoscenza di questa materia ed ai costruttori del Rinascimento non rimase altro che liberare la propria creatività, dedicandosi all'applicazione della nuova teoria per il progetto di affascinanti orologi solari da realizzare su superfici di ogni forma e tipo. Va puntualizzato che i termini *meridiana* e *orologio solare* non sono esattamente interscambiabili, in quanto il primo dovrebbe essere usato solo per gli strumenti costituiti da una sola linea usata esclusivamente per indicare il mezzogiorno. In realtà, le due voci sono ormai utilizzate comunemente come sinonimi, senza distinzione.

Tipi di ore e di meridiane

Gli orologi solari (Fig. 3) possono essere disegnati su ogni superficie, verticale, orizzontale, inclinata, ma anche sferica o cilindrica. Ce ne sono alcuni disegnati sul fondo di vaschette all'aperto, progettate per funzionare solo se riempite d'acqua, di cui sfruttano la rifrazione.

Di grande fascino sono le meridiane "a camera oscura", di solito disegnate su un pavimento di una stanza, spesso all'interno di cattedrali, la cui funzione è quella di indicare l'istante del mezzogiorno per mezzo della luce che filtra da un foro sulla parete o sul tetto. Possono essere utilizzate per osservare le eclissi di Sole, in quanto l'immagine del disco solare eclissato appare proiettato sul pavimento. Grazie alle loro grandi dimensioni, questo tipo di meridiane sono dotate di una grande precisione e va detto che, per lungo tempo, molti orologi meccanici venivano rimessi in base alla loro ora: ad esempio, a Siena, la meridiana a camera oscura situata nell'Accademia dei Fisiocritici (Fig. 4), costruita dall'ingegnere ferroviario Giuseppe Pianigiani nel 1848, indicava il mezzodì a tutta la città. Un incaricato attendeva l'istante del transito del Sole, che lo strumento segnava con una risoluzione di pochi secondi, e ne dava avviso con la campana della chiesa vicina; il segnale veniva propagato in tutta la città da altre campane, compresa quella della Torre del Mangia, e chi disponeva di un orologio meccanico provvedeva a rimetterne l'ora.

Questa meridiana fu voluta dai Fisiocritici in



Fig. 4 - Meridiana a camera oscura ubicata nell'Accademia dei Fisiocritici di Siena. Si noti la lemniscata del tempo medio e la linea meridiana del Mezzogiorno Vero (Foto Mauro Agnesoni).

ricordo della precedente costruita da Gabrielli nel 1704, andata distrutta nel terremoto del 1798. Nel 1966 il foro gnomonico fu oscurato dalla costruzione di edifici adiacenti, segnando la fine dello strumento e, dal 2002, il suo funzionamento è stato ripristinato grazie all'uso di una luce artificiale che, simulando un Sole virtuale, permette di mostrare ai visitatori il funzionamento dell'antico orologio.

Parlando ancora di Toscana, è interessante sapere che nel 1475 il matematico e astronomo Paolo Toscanelli installò nel duomo di Santa Maria del Fiore a Firenze un foro gnomonico all'altezza di oltre 90m, creando quella che era, al tempo, la meridiana a camera oscura più grande del mondo.

Gli orologi solari non si distinguono solo in base al metodo e forma con cui sono costruiti ma, soprattutto, in funzione del "tipo" di ora segnata. Quello che stiamo pian piano dimenticando è che fino a pochi decenni fa si utilizzavano ore diverse per misurare la giornata, come quelle che indicavano quanto tempo mancasse al tramonto (*ore italiane*), o quante ore fossero trascorse dall'alba (*ore babiloniche*), utili per i lavori all'aperto; ma esistevano anche ore riferite a funzioni religiose (*ore*



Fig. 5 - Meridiana con gnomone a macchia di luce sulla Torre del Mangia, nell'istante in cui indica il mezzogiorno locale di Siena (it.wikipedia.org).

canoniche) e altre ancora più antiche che usavano dividere il periodo diurno, che va dall'alba al tramonto, in 12 parti, sia d'estate che d'inverno (quelle indicate dall'*hemicyclum* ad esempio): erano le *ore temporali*, e facevano parte delle ore ineguali – come pure quelle canoniche – in quanto la loro durata cambiava nel corso dell'anno per via

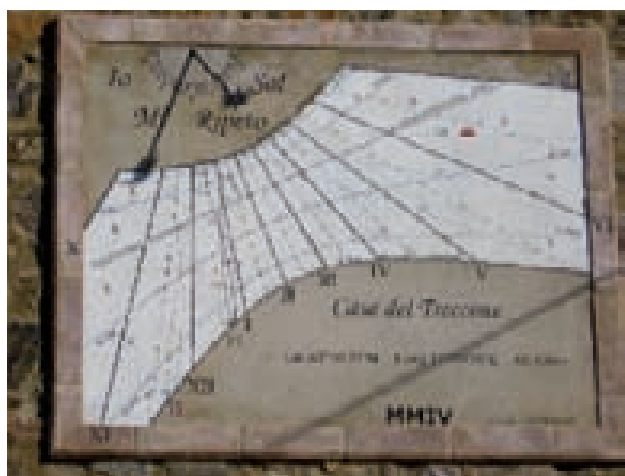


Fig. 6 - Meridiana, posta su un edificio di Casciano di Murlo (SI), che segna vari tipi di ore: astronomiche del luogo (linee nere X-VII), medie (lemniscate 13, 14) e italiane (linee azzurre tratteggiate 21, 22, 23, 34). Lo stilo è del tipo a macchia di luce. Le linee diurne indicano i giorni degli equinozi, dei solstizi e del passaggio del Sole nei vari segni zodiacali. I segni zodiacali sono riportati spostati di un segno, per ricordare l'effetto della precessione degli equinozi sul reale percorso del Sole nella volta celeste. La foto è stata scattata nel solstizio d'inverno.

della variazione degli istanti del sorgere e del tramontare del Sole. Esse corrispondevano, più o meno, ad un'ora e un quarto delle nostre ore in estate, e a tre quarti d'ora in inverno.

Le ore italiane erano utilizzate nella nostra nazione fino all'imposizione, con le campagne napoleoniche, delle *ore francesi*, anche dette *ore astronomiche*. Mentre le prime hanno come riferimento il tramonto, ora ventiquattresima, le seconde iniziano il conteggio dalla mezzanotte, ora 0, e segnano il mezzogiorno (mezzogiorno locale, ora XII) quando il Sole attraversa il meridiano locale. Alcune "tracce" delle nostre antiche ore italiane le troviamo, ad esempio, nel modo di dire "portar il cappello sulle 23", per indicare un cappello indossato con una leggera inclinazione, un detto che assume un senso solo conoscendo come fosse rappresentata sugli orologi solari la linea che indica l'ora italiana ventitreesima. In Fig. 6, sulla parte destra del quadrante, le linee azzurre tratteggiate, numerate da 21 a 24, sono le ore italiane e come possiamo osservare, l'ora 23 (che indica il mancare di un'ora al tramonto) è leggermente inclinata.

Tra i vari tipi di ore ancora da citare c'è, ovviamente, quella segnata dal nostro orologio da polso: l'*ora media*, usata per misurare il tempo civile. Essa fu ideata per imporre lo stesso riferimento temporale a tutte quelle aree geografiche rientranti nello stesso fuso orario, e deriva da un modello astronomico semplificato in cui la Terra è assunta orbitare intorno al Sole con moto perfettamente circolare, a velocità costante. Questo comporta



Fig. 7 - Meridiana posta su un edificio di Casciano di Murlo (SI) che indica le ore babiloniche (linee rosse Alba, 1-6) e le ore astronomiche (linee nere tratteggiate V-XI) per mezzo dell'ombra di un ortostilo. È tracciata la sola linea diurna degli equinozi.



Fig. 8 - Resti di una meridiana, probabilmente ad ore canoniche, in località La Befà, Murlo (SI).

che le ore medie siano legate alle ore astronomiche da complessi parametri, come la correzione del fuso e la cosiddetta *equazione del tempo*. Il primo termine dipende dalla longitudine del luogo, mentre il secondo - che varia ogni giorno - è conseguenza della combinazione dell'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano di rivoluzione intorno al Sole e dell'eccentricità dell'orbita stessa. L'ora media è quindi l'ultima "definizione" di un lungo processo che ha portato alla convenzione oggi adottata di misura del tempo giornaliero. Va detto che è anche possibile far indicare ad una meridiana l'ora media, utilizzando delle particolari linee a 8 dette *lemniscate*, soluzione che provoca però una certa difficoltà nella lettura e snatura la funzione primaria dell'orologio solare che è quella di indicare l'ora locale, o ora Vera e, quindi, il tempo legato ad un particolare luogo.

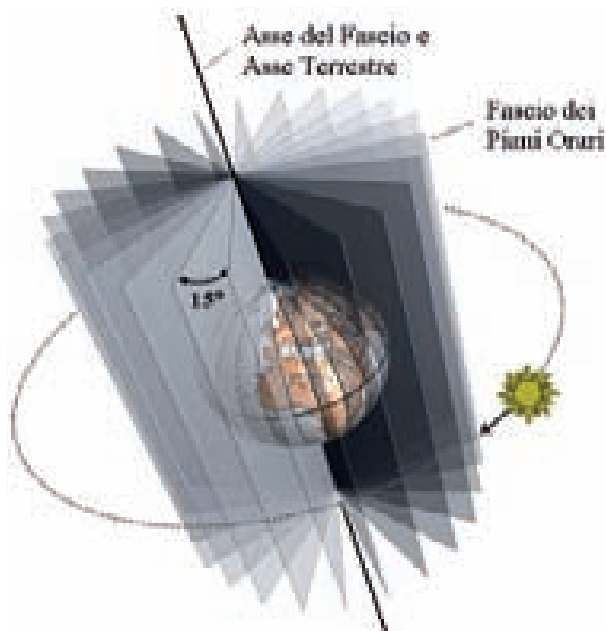


Fig. 9 - Il Fascio dei Piani Orari (FPO) è l'insieme di 24 semi-piani immaginari, formanti angoli di 15° tra loro, che hanno in comune l'asse terrestre.

È importante sottolineare che sarebbe sbagliato pensare che l'ora media oggi usata sia la migliore o la più esatta o la più utile. È solo quella più comoda per le moderne esigenze, e non per tutte. Basti pensare che essa non fornisce informazioni importanti come gli orari dell'alba e del tramonto, che possiamo conoscere solo dalle meridiane a ore italiche e babiloniche.

Principio di funzionamento delle meridiane a ore astronomiche

Per apprezzare e comprendere l'importanza degli orologi solari, è necessario conoscere alcuni semplici principi su cui si basa il loro funzionamento. Data la vastità della materia, in questo breve paragrafo ci limiteremo a fornire delle indicazioni generiche, riferite a meridiane verticali a ore astronomiche, rimandando il lettore interessato ad approfondire questi argomenti alla consultazione di testi specifici.

Innanzitutto, per semplificare la comprensione del funzionamento della meridiana è utile far ricorso alla visione tolemaica del nostro sistema planetario ed immaginare che il Sole ruoti attorno alla Terra. Anche se tale teoria è notoriamente falsa, la relatività dei fenomeni ci permette di adottare il sistema che preferiamo e che ci facilita lo studio. Poi, per arrivare alla definizione delle 24 ore, è necessario definire il Fascio dei Piani Orari (FPO) o Rosa Oraria, come l'insie-

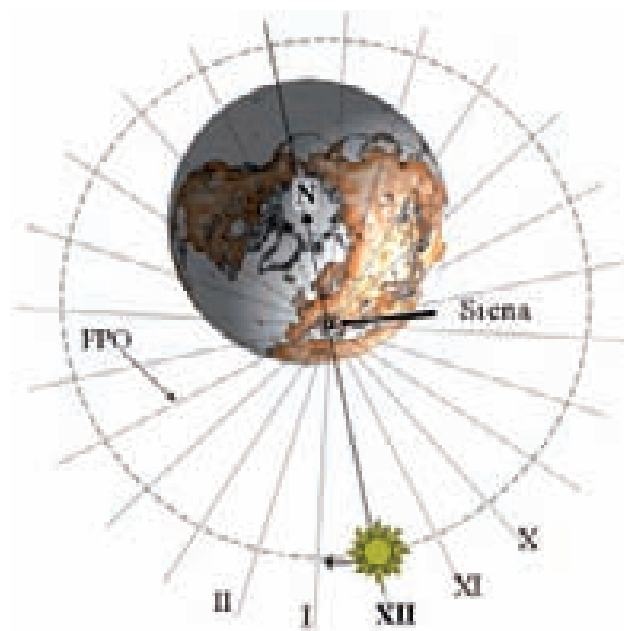


Fig. 10 - Per disegnare le linee orarie, si suppone l'FPO centrato sullo stilo, anziché sull'asse terrestre, commettendo un errore trascurabile.

me di 24 semipiani (uno per ora), con una retta in comune (*asse del fascio*), formanti tra loro angoli di 15°. Se facciamo coincidere l'asse di questo fascio di piani immaginari con l'asse terrestre, possiamo osservare il Sole che, nel suo moto apparente attorno alla Terra, attraversa, in un giorno, tutti i semipiani dell'FPO (Fig. 9). Questo è il modello su cui si basano le meridiane a ore astronomiche, in cui il Mezzogiorno Vero, ore XII di un certo luogo, rappresenta l'istante in cui il centro del Sole interseca il semipiano passante per quel posto.

Per capire come hanno origine le linee orarie disegnate sulle meridiane verticali con stilo polare, dobbiamo immaginare di traslare il fascio dei piani in modo da far contenere al suo asse lo stilo (Fig. 10). Le linee di intersezione tra il quadrante dell'orologio solare ed i piani dell'FPO sono le linee orarie su cui si adagerà l'ombra dello stilo quando il Sole attraverserà il piano corrispondente (Fig. 11). Questa piccola variazione del modello che abbiamo definito, equivale a supporre che il Sole ruoti attorno allo stilo, anziché attorno all'asse terrestre ed introduce un errore assolutamente trascurabile. È interessante notare che questa soluzione permette di ottenere uno strumento in grado di indicare sempre la stessa ora indipendentemente dal periodo dell'anno, e cioè a prescindere dall'altezza del Sole sull'orizzonte. La sola differenza, al variare delle stagioni, è la lunghezza dell'ombra dello stilo che possiamo utilizzare per conoscere i

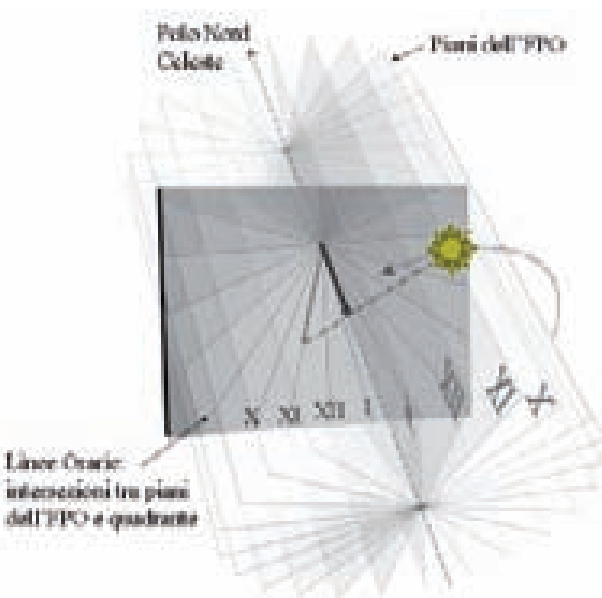


Fig. 11 - Le linee orarie si ottengono dall'intersezione dei piani dell'FPO con il quadrante della meridiana. Il Sole, attraversando un determinato piano orario, proietta l'ombra dello stilo polare sulla linea oraria corrispondente a quel piano, indicando l'ora Vera del luogo.

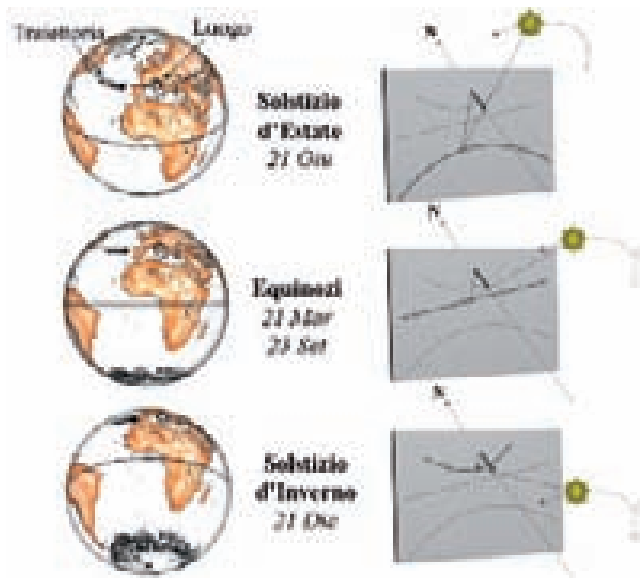


Fig. 12 - Effetto dell'inclinazione dell'asse terrestre sul percorso dell'ombra della meridiana nei giorni con declinazione massima (solstizio d'estate), minima (solstizio d'inverno) e nulla (equinozi di primavera e autunno).

giorni degli equinozi, dei solstizi e di altri giorni particolari come l'ingresso nei vari segni zodiacali (Fig. 12).

Conclusione

Ora che conosciamo il significato di una buona parte delle linee che compongono una meridiana, capiamo perché questo strumento si possa definire un preciso modello del cosmo disegnato su una parete. È una definizione e una visione affascinante, perché esprime la nostra sensazione quando lo osserviamo. Un orologio solare, oltre a fornire informazioni sull'ora vera del luogo, valorizza l'edificio su cui è posto, ma non per questo rappresenta soltanto una decorazione urbana; esso è qualcosa che, con la sua ombra, fornisce un momento di riflessione anche al passante più distratto, e fa capire di essere molto di più di un disegno su una parete, e cioè storia, arte, scienza, poesia.

Testi di riferimento

Pavanello G. & Trincherio A. (1996) - *Le meridiane. Storia, funzionamento, costruzione di un orologio solare*. De Vecchi Editore, Milano.

Rhor René R.J. (1988) - *Meridiane*. Ulisse Edizioni, Torino.

Ulivieri N. (2009) - *I segreti degli orologi solari*. Ed. Progetto Cultura, Roma.

Pienza città rinascimentale: i dissesti del Duomo e del Centro storico

Armando Costantini* & Antonio Lazzarotto*

*Università degli studi di Siena, Dipartimento di Scienze della terra, Via Laterina 8 – 53100 Siena
acostantini@unisi.it, lazzarotto@unisi.it

“Pienza è una di quelle cittadine della Toscana meridionale, che, nella vasta solitudine vulcanica, che si stende da Siena fin presso Chiusi, incoronarono ancora di mura e di torri la vetta di qualche collina verdeggiante”. Da questa breve descrizione del Canonico Mannucci si intuisce che le conoscenze geologiche della Toscana meridionale erano, fin nei primi decenni del ventesimo secolo, molto approssimative. La secolare e avvincente storia dei dissesti e dei restauri della Cattedrale di Pienza dimostrano come la mancata conoscenza dei più elementari fenomeni geologici abbia fatto sì che i numerosi e dispendiosi interventi, effettuati per evitare l’abbassamento e la rotazione della parte absidale, non siano mai riusciti a conseguire risultati definitivi.

Cenni storici

Le più dettagliate notizie sulla storia di Pienza si trovano nella bellissima opera del Canonico Giovanni Battista Mannucci, edita per la prima volta nel 1915 e seguita da altre due edizioni nel 1927 e nel 1937. Di quest’ultima, la più completa, è stata effettuata nel 2005, in occasione del seicentesimo anniversario della nascita del Papa Pio II, una ristampa anastatica che ci ha permesso di scoprire una preziosa rarità bibliografica.

Enea Silvio Piccolomini nacque nel piccolo borgo di Corsignano, il 18 ottobre 1405, da famiglia nobile senese e fu eletto Papa il 19 agosto 1458, assumendo il nome di Pio II. “Fu appunto Enea Silvio Piccolomini, destinato a diventare un grande Umanista ed un gran Pontefice, che, appena salito al trono nel 1458, attese subito a trasformare Corsignano, dal modesto borgo che era, in una elegantissima cittadina, alla quale, coi monumenti e coi tesori di che la adornò, diede pure il nome di Pienza, come a dire città di Pio”. I lavori furono affidati ad un architetto fiorentino, Bernardo Rossellino, che, a partire dal 1459, costruì tre edifici: il Duomo, il Palazzo Papale e l’edificio che ospita attualmente gli uffici del Comune. Il Palazzo Vescovile è invece il risultato di una ristrutturazione dell’edificio ove stavano il Pretore e gli altri Magistra-

ti (Forlani Conti, 1992). I quattro edifici (Fig. 1) si dispongono armonicamente attorno ad una piccola piazza, per fare spazio alla quale il Rossellino fu costretto a collocare il Duomo più all’esterno possibile, fin sopra il dirupo che si affaccia sulla Val d’Orcia: “Una bolla di Pio II c’informa che il Palazzo Pontificio fu eretto sul fondo paterno, abbattendo la vecchia casa ivi esistente; l’architetto pose la facciata del nuovo edificio lungo la via maggiore, verso mezzanotte, ed estese i lati verso mezzogiorno fin quasi a raggiungere, col retrostante giardino pensile, le mura castellane. Alla Cattedrale diede uguale

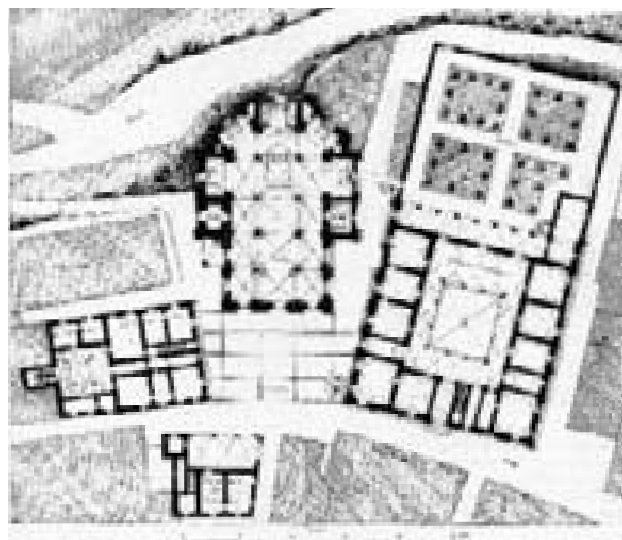


Fig. 1 - La Piazza Pio II, delimitata dal Duomo, dal Palazzo Piccolomini, dal Palazzo Comunale e dal Palazzo Arcivescovile (da Forlani Conti, 1992).

orientazione, ma la collocò più addietro, per lasciare tra la sua fronte e la via una piccola piazza”. “Per dare a questa piazza una profondità conveniente, l’architetto arretrò il Duomo fino a porne la fronte sulla linea che congiunge l’estremità destra del Palazzo Vescovile col centro del Palazzo Pontificio; perché il tempio avesse una sufficiente lunghezza fu costretto a collocarne l’abside e il transetto oltre la cerchia delle mura urbane e a fondarli sullo scoscendimento” (Barbacci, 1934). Purtroppo questa disposizione sarà all’origine di gravi dissesti che si manifesteranno anche durante la costruzione e coinvolgeranno, come vedremo, soprattutto l’abside ed il transetto del Duomo. “Nel giorno della decollazione di S. Giovanni Battista, 29 Agosto 1462, dal Cardinale Ostiense veniva consacrata la nuova Cattedrale con gli altari minori, consacrando Pio II da sè stesso l’altare maggiore” (Mannucci, 1937). Il 16 Settembre 1462 il Pontefice emanò una severissima bolla con la quale vietava “qualsiasi alterazione non solo sostanziale, ma anche accidentale nella bella Cattedrale da lui testè eretta con intelletto di artista e splendidezza di principe”. Questa bolla creerà gravi difficoltà ai futuri interventi, volti a rimediare ai gravi dissesti cui andrà soggetto nei secoli successivi l’insigne monumento, fino a che, ben 121 anni dopo, non fu costretta ad intervenire “l’apostolica autorità di Gregorio XIII, il quale con la sua Bolla del 1 Marzo 1583, per l’evidente necessità di procedere a taluni restauri, derogava alla Bolla santamente severa del Papa Pientino” (Mannucci, 1937).

Pio II morì ad Ancona nel 1464, quando si apprestava ad imbarcarsi per una grande Crociata contro gli infedeli. I consessi di Mantova e di Ancona, convocati dal Papa per organizzare la spedizione, sono rappresentati negli affreschi del Pinturicchio nella sala della Biblioteca Piccolomini nel Duomo di Siena.

Cinque secoli di dissesti e restauri nella Cattedrale

Ancor prima che fossero ultimati i lavori della Cattedrale, emersero i primi segni di cedimento nella parte absidale, ma l’Architetto Bernardo Rossellino, nonostante gli enormi proble-

mi fondali, cedette alle pressioni del Pontefice e continuò frettolosamente a edificare, sperando che il cedimento si arrestasse spontaneamente o si mantenesse entro limiti modesti. Le strutture murarie della parte anteriore del Duomo furono appoggiate su un banco di arenaria compatta, mentre la parte absidale “contrariamente a quello che ci hanno lasciato scritto i Commentari di Pio II, posava senza alcuna fondazione sopra una scogliera tufacea, instabile, crepacciosa, con stillicidii di acqua, che lentamente ne minavano la compagine con il presagio doloroso di un’irreparabile e non lontana rovina” (Mannucci, 1937). Fra il 1500 e il 1545, a seguito dell’abbassamento della parte absidale, più accentuato sul lato sinistro, furono eseguiti i primi interventi: si realizzarono delle gallerie fognanti per allontanare l’acqua che scorreva fra “la creta e la pietra”; inoltre si costruirono “due piloni sotterranei ed il muro di rifianco perimetrale” (Barbacci, 1934). Il primo grosso cedimento fu provocato dal terremoto del 26 novembre 1545, documentato da Vincenzo Vannucci, cittadino pientino (1539-1613), nel Registro dei nati a Pienza, custodito nella Curia Vescovile; qui vengono riportati i danni arrecati alle case, al campanile ed alle volte del Duomo: “A dì 26 Novembre 1545 – venendo il 27 in Venerdì – a ore 9 di notte Pienza patì grandissimi danni per terremoti: rovinò molte case, cascò parte del campanile del Duomo ed una gran parte delle volte. Si rassettò quasi ogni cosa l’anno 1570, ma il cretto, allargato dal terremoto, non si è fino ad oggi possuto trovar rimedio et minaccia grande rovina, quale dicono venire da S. Caterina fino alla Porta al Ciglio, passando per la mia cantina. Furono cavate più persone di sotto ai sassi, ferite non morendo però alcuno, ma messe tanto spavento e terrore nel popolo che una notte si alloggiò nel Prato fuori al Murello sotto le tende ed intorno a buoni fuochi per fino tutte le signore et io fui presente essendo putto”. Aggiunge Mannucci che il terremoto “avrebbe contribuito ai danni della statica del monumentale edificio, spaccando orizzontalmente la scogliera e lasciando un gran cretto, che, durante la esecuzione degli ultimi lavori di restauro, aveva raggiunto un’apertura di quasi due metri, con una profondità, dal piano della chiesa di S. Giovanni, di oltre 15 metri e proprio fino al punto

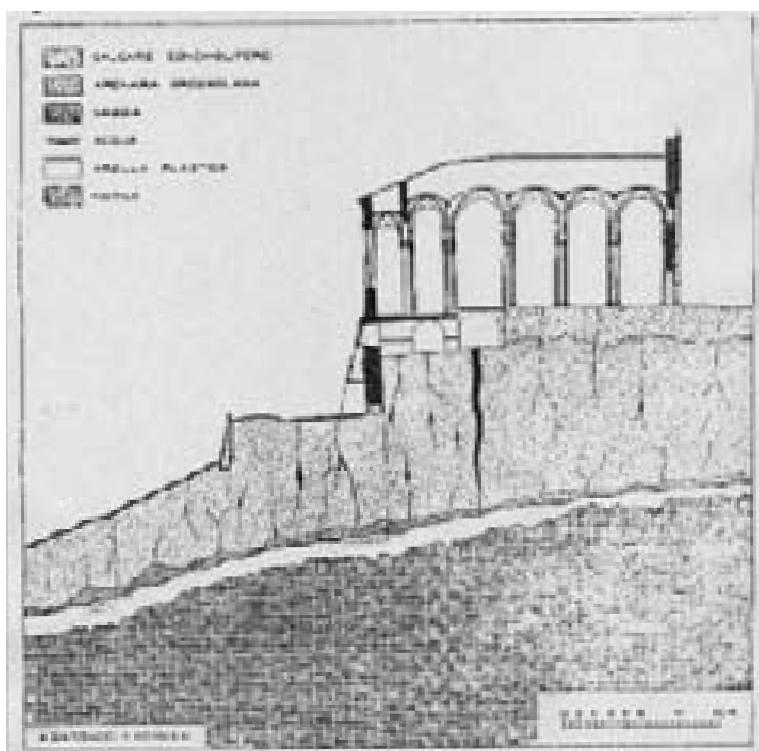


Fig. 2 - Sezione longitudinale del Duomo di Pienza e del terreno di fondazione secondo Barbacci (1934).

dove confina il bancone tufaceo e si perde nella creta”. Ulteriori restauri furono fatti fra il 1583 ed il 1600 e, tra l’altro “si credè opportuno di costruire, per opera dei Medici il grande sperone all’esterno, per impedire il totale distacco dell’abside nel punto in cui incominciava ad elevarsi il campanile, il quale fortunatamente si trovò ad essere costruito nella parte solida dell’edificio”. Limitati e localizzati interventi furono eseguiti nei tre secoli successivi: per un loro esame dettagliato e documentato si rimanda ai lavori di Barbacci (1934), Mannucci (1937) e Forlani Conti (1992). La situazione fu ripresa seriamente in esame agli inizi del ‘900: risale infatti al novembre del 1905 una relazione di una commissione di esperti, tra i cui membri compare per la prima volta la figura del Geologo nella persona del Prof. Carlo De Stefani, Professore di Geologia nel R. Istituto di Studi Superiori di Firenze. Gli studi sulle cause del cedimento portarono a queste conclusioni: “Che l’abbassarsi dell’edificio sia dovuto al disgregamento lento e continuo dei massi sopra i quali riposano le fondazioni, in unione ai vuoti o distacchi già esistenti all’origine, disgregamento che sarebbe causato dalle pressioni che su di essi esercitano le fondazioni dell’abside” e che a tale abbassamento potrebbe contribuire anche “un moto di

lento assestamento delle rocce sul banco delle argille (Fig. 2), dipendente dall’azione delle acque sui conglomerati sabbiosi” (Barbacci, 1934). A seguito di questi studi, vengono prospettati in questo periodo due progetti: il progetto dell’Architetto A. Socini che “proponeva di smontare e ricostruire integralmente con gli stessi pietrami la parte dell’edificio pericolante, confortando la sua tesi coll’esempio della chiesetta della Madonna della Spina in Pisa”. L’altro è il progetto dell’Ing. C. Spighi, Soprintendente dei Monumenti di Siena, “che invece aveva come base fondamentale di consolidare il sottosuolo ed impedirne per sempre i movimenti, lasciando al suo posto, nella sua bellezza originale e caratteristica, il secolare edificio. E per raggiungere questo intento prima opera doveva essere

quella di restituire all’esistente galleria sotterranea il facile e libero sgorge delle acque micidiali, restaurandola nelle parti franate e guaste. Quindi recingere con muraglie sotterranee, posanti sopra il pancone cretaceo e con sproni di proporzionate dimensioni, tutta la zona di massi tufacei, che si trovavano disgregati e in continuo movimento” (Mannucci, 1937). Nel dicembre del 1909 il Consiglio Superiore delle Belle Arti, a seguito di un aggravamento delle lesioni, anche per effetto di un terremoto che si era verificato il 25 agosto dello stesso anno, nominò una Commissione di esperti (tra cui Carlo De Stefani) al fine di esaminare lo stato di degrado del Duomo di Pienza e di giudicare la fattibilità del progetto Spighi. Il 12 febbraio 1910, la Commissione approvò il progetto di consolidamento dell’ Ing. Spighi, suggerendo alcune modifiche che furono accettate ed inserite nel progetto. Il 10 dicembre del 1911 iniziarono “i lavori di sottofondazione alla profondità di 25 metri dal piano della chiesa di S. Giovanni” (Mannucci, 1937). Le operazioni proseguirono per poco meno di una ventina d’anni, con una interruzione di pochi anni, per mancanza di fondi, in concomitanza della prima guerra mondiale. Nel 1926 l’Ing. Arch. Alfredo Barbacci assunse la progettazione e direzione dei lavori e curò con



Fig. 3 - Una recente fessura apertasi sul lato sinistro dell'abside.

particolare attenzione il drenaggio delle acque, avendo acquisito la convinzione che “le stesse acque sotterranee che disgregando l'arenaria e rammollendo l'argilla avevano nel passato prodotto il disastroso cedimento dell'edificio, esercitavano ora una dannosissima azione chimico fisica corrompendo la muratura”. I lavori di sottofondazione dell'abside ed il completamento delle gallerie fognanti si conclusero nel 1929.

Nel maggio del 1956, a seguito della segnalazione di nuove vistose lesioni nella testata del transetto, venne nominata una nuova commissione ministeriale per lo studio dei lavori necessari al consolidamento dell'abitato di Pienza, con particolare riferimento alla Cattedrale. Vennero eseguite 7 trivellazioni a carotaggio continuo che rivelarono dei bruschi salti di quota delle superfici stratigrafiche, indicativi della presenza di due faglie dirette, con direzione E-O, vicarianti. A queste faglie non venne attribuita particolare importanza. Più significativa si rivelò, per la Commissione, la presenza, fra il banco dell'arenaria e le argille, di un livello lenticolare di argille gialle plastiche: i cedimenti, successivi alla costruzione dei piloni, vennero spiegati con un rifluimento delle argille plastiche nelle fratture

re e nelle discontinuità delle arenarie. A seguito delle indicazioni della Commissione, negli anni 1958-1964, si procedette alla sottofondazione del Duomo, in tutta la parte non interessata dagli interventi precedenti, “trasferendo i carichi delle strutture in elevazione al basamento argilloso, tramite reticoli di *Pali Radice* Fondedile. Vennero inoltre completati gli interventi idraulici con l'esecuzione di uno schermo di iniezioni di impermeabilizzazione sul lato Nord, parallelamente alla facciata, attraverso il banco di arenaria, per intercettare i moti di filtrazione in questo strato” (Calabresi, 1992).

I lavori di sottofondazione dell'abside e del transetto ed il collegamento anche della parte nord del Duomo al banco argilloso, attraverso un reticolo di pali, effettuati negli interventi degli anni 1911-1929 ed in quelli degli anni '50 e '60, determinarono questa situazione strutturale: “I due blocchi continui e rigidi sottostanti la parte sud e quella nord del Duomo non soltanto sono tra loro strutturalmente indipendenti, ma si appoggiano a parti del substrato argilloso anch'esse distinte e indipendenti perché separate dalle discontinuità tettoniche” (Calabresi, 1992).

Nel 1979, risultando sempre più evidenti lesioni sul pavimento e sulle testate del transetto del Duomo, venne insediata, per decreto ministeriale, una nuova Commissione con il compito di studiare, sia dal punto di vista strutturale sia dal punto di vista geologico e geotecnico, l'entità e le cause dei nuovi dissesti. Gli studi effettuati compresero:

- un esame dettagliato dei dissesti e dei restauri del Duomo di Pienza attraverso i cinque secoli dalla sua edificazione;
- una rilevazione dell'interno del Duomo;
- indagini strutturali all'interno del Duomo, rilievo del quadro fessurativo attuale e studio della sua evoluzione nel tempo;
- indagini geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sull'attività sismica nell'area di Pienza;
- studi topografici nella parte meridionale dell'abitato di Pienza ed in particolare nella zona del Duomo, con livellazione geometrica di alta precisione;
- studi sulle proprietà meccaniche dei terreni e sulle strutture di fondazione del Duomo.

I risultati di questi studi sono stati esposti in convegni e congressi nazionali e internazionali e sono oggetto di varie pubblicazioni, per la conoscenza delle quali rimandiamo all'elenco bibliografico. Per la prima volta, essi portarono, come vedremo meglio più avanti, ad attribuire i dissesti del Duomo a fattori strettamente collegati all'assetto geologico dell'area di Pienza. Le cause degli attuali movimenti dell'abside e del transetto del Duomo (Fig. 3) "non dipendono da deficienze delle strutture di fondazione o dalla deformazione di terreni da queste direttamente interessati, per effetto dei carichi trasmessi dal Duomo, ma da un fenomeno di scorrimento in atto lungo superfici di discontinuità tettonica che tagliano trasversalmente il Duomo. Il continuo lento abbassamento del lembo meridionale rispetto a quello settentrionale fa ruotare verso valle il blocco delle sottofondazioni, realizzato a cavallo delle linee di frattura, e la sovrastante parte absidale del Duomo".

A conclusione del Convegno di Pontignano, svoltosi il 6 giugno 1992, gli intervenuti presentarono la seguente mozione: "A conclusione della giornata di studi, dedicata ai problemi del Duomo di Pienza, preso atto dello stato delle indagini e delle ipotesi che ne emergono in ordine alle cause che nel corso dei secoli hanno determinato l'attuale configurazione della fabbrica, considerato che le più recenti indagini non hanno evidenziato una sostanziale situazione di pericolo che possa giustificare nell'immediato un intervento di consolidamento, considerato che ulteriori indagini, mirate al controllo razionale degli spostamenti e delle deformazioni, sono necessarie per costituire riferimento capace di dare ragione alla reale dinamica del fenomeno, considerata, in particolare, la storia più recente degli interventi di consolidamento nei suoi rapporti consequenziali con la stabilità e la resistenza delle strutture del complesso monumentale, i convenuti unanimemente concordano sulla necessità di estendere e proseguire le osservazioni sul comportamento del sottosuolo, delle strutture interagenti e dell'intero versante sud per il tempo necessario, allo scopo di pervenire ad una conoscenza più approfondita dei fenomeni in corso e ad una meditata valutazione delle necessità di interventi di consolidamento".

Le conoscenze geologiche nell'area di Pienza

Ci siamo soffermati sulla storia dei ripetuti interventi che si sono resi necessari nel corso dei secoli per evitare la rovina del Duomo di Pienza e per rimediare ai dissesti che ripetutamente hanno interessato non solo la Cattedrale ma gran parte del Centro storico. Basti ricordare che solo nel secolo scorso si sono succedute tre Commissioni di nomina ministeriale per indagare le cause di tali dissesti (Commissione Spighi, 1910; Comm. Chierici, 1956; Comm. Brandi, 1980) e che gli interventi effettuati non sono mai stati definitivi. Appare pertanto giustificato il dubbio di Cesare Brandi, membro dell'ultima Commissione, che ebbe a chiedersi: "*è il Duomo di Pienza così importante da dovere assumere una preoccupazione secolare che sposta al futuro, perché una terapia risolutiva è chiaramente impossibile e tutto quello che si può fare, è una sorveglianza assidua che possa pur intervenire con una muratura parziale che possa evitare il peggio?*". Gli studi comunque sono proseguiti, in particolare per la stesura dell'attuale Piano Strutturale del Comune di Pienza, e un po' alla volta si sono definiti i contorni del problema, solo sfiorati nelle precedenti relazioni. Appare ormai accertato che il lento abbassamento dell'abside del Duomo, dopo un primo forte movimento di assestamento, verificatosi ancora durante la costruzione del manufatto, non è più attribuibile a cedimenti strutturali dell'edificio, quanto invece a cause di natura geologica: ciò è emerso dalle livellazioni di alta precisione, effettuate nel centro storico e nelle sue immediate vicinanze, dal giugno del 1983 al gennaio del 1992 (Calabresi *et al.*, 1988; Guidi, 1992; Izzo *et al.*, 1992; Calabresi *et al.*, 1995). Queste livellazioni hanno messo in evidenza lenti ed irregolari movimenti di abbassamento, che interessano due fasce: una, allungata in direzione ONO-ESE, si estende nella parte meridionale dell'abitato di Pienza; l'altra interessa il settore sud-orientale dell'abitato e si allunga secondo una direzione NE-SO, formando con la prima un angolo di circa 110°. La direzione di queste due fasce coincide perfettamente con le principali direttrici tettoniche rilevate nelle aree circostanti il Centro Storico.

Nei paragrafi che seguono cercheremo di esaminare le possibili cause responsabili di tali movimenti sulla base delle ricerche fino ad ora condotte. Ulteriori rilievi e studi geognostici saranno necessari per definire il fenomeno dai punti di vista geometrico e cinematico, al fine di prospettare i possibili interventi.

Inquadramento geologico

La cittadina di Pienza si estende su un'area pianeggiante, ad una quota di quasi 500 metri sul livello del mare (Fig. 4); essa poggia su sedimenti pliocenici di ambiente marino costiero e la spianata stessa costituisce, con ogni probabilità, una piccola porzione di una superficie strutturale pliocenica, preservata dai successivi processi di erosione superficiale. L'altura, su cui sorge la città, fa parte di una dorsale allungata in direzione OSO-ENE, che si estende da S. Quirico d'Orcia a Montefollonico e fa da spartiacque fra il T. Tuoma ed il T. Tressa. Essa coincide con un alto strutturale del substrato mesozoico, in corrispondenza del quale lo spessore dei sovrastanti sedimenti pliocenici è ridotto ad un centinaio di metri, e separa due grandi bacini neogenici: il Bacino di Siena a nord dal Bacino di Radicofani a sud, all'interno dei quali i sedimenti pliocenici raggiungono invece potenze di varie centinaia di metri (Costantini *et al.*, 1982).

Ai bordi della depressione, che contiene i due grandi bacini pliocenici di Siena e di Radicofani, si sviluppano due lunghe dorsali: la Dorsale



Fig. 4 - Visione di Pienza da sud; nel panorama spiccano il Duomo e Palazzo Piccolomini.

Chianti – Rapolano – M. Cetona ad oriente e la Dorsale M. Maggio – Montalcino – Monte Amiata ad occidente. Il rilievo, su cui è ubicata la città di Pienza, è, anche dal punto di vista geologico, riferibile al bordo occidentale della Dorsale Chianti – Rapolano – M. Cetona; il substrato dei sedimenti pliocenici è infatti qui rappresentato, in prevalenza, dalle formazioni mesozoiche, carbonatico-silicee, della “Serie toscana”, disposte in successione rovesciata.

Litologia e stratigrafia

Nell'area di Pienza, su un substrato preneogenico, costituito principalmente da formazioni della Successione toscana non metamorfica e rappresentato da pochi e limitati affioramenti che compaiono sul fondo di incisioni vallive, poggiano i sedimenti marino-continentali pliocenici che sono nell'ordine dall'alto al basso rappresentati dalle seguenti formazioni:

- Sabbie di Palazzo Massaini
- Argille della Val Tuoma
- Sabbie a Brachiopodi
- Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*
- “Sasso porco”
- Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico
- Argille della Val D'Orcia.

I rapporti di giacitura di queste unità, spesso caratterizzati da passaggi laterali, sono illustrati nella colonna stratigrafica di Fig. 5. Di esse daremo ora una breve e sintetica descrizione ad iniziare dalla più antica.

Argille della Val d'Orcia (Losacco, 1963)

Costituisce la formazione più profonda della successione pliocenica e per questo è stata chiamata anche con il nome di “Argille inferiori” (Fazzini & Mantovani, 1968).

La sua base non è mai visibile ad eccezione di un breve tratto del fondovalle del Torrente Rigo, dove è osservabile il contatto con alcune formazioni della Successione toscana, in evidente giacitura rovesciata.

L'unità è rappresentata da argille marine, di colore grigio-azzurro, con rari

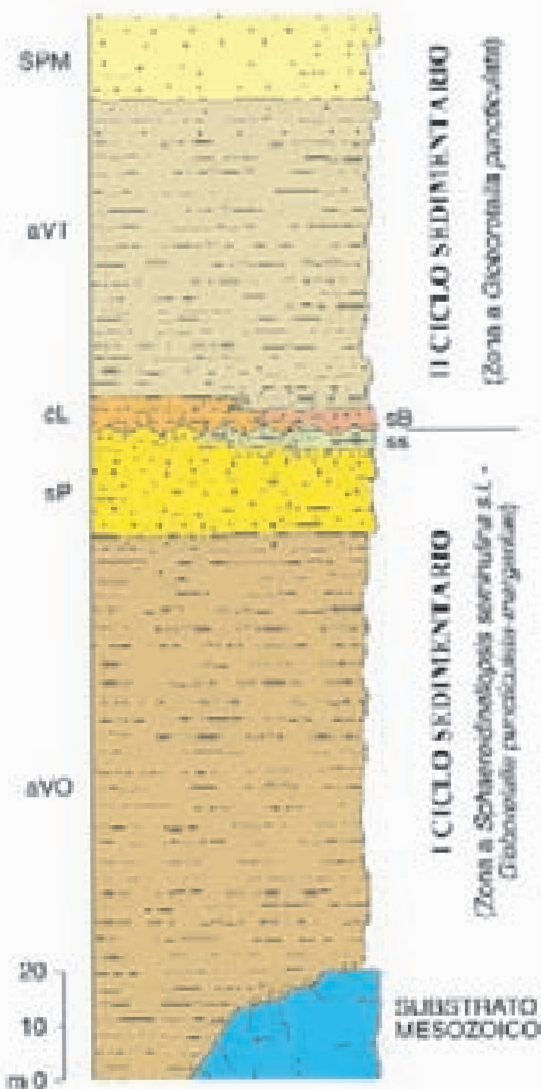


Fig. 5 - Depositi del Pliocene Inferiore nell'area di Pienza. Spiegazione delle sigle: *sPM* - Sabbie di Palazzo Massaini; *aVT* - Argille della Val Tuoma; *cL* - Calcere organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*; *sB* - Sabbie a Briozoi; *ss* - "Sasso porco"; *sP* - Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico; *aVO* - Argille della Val d'Orcia.

nidi di macrofossili, costituiti principalmente da Pectinidi. Il suo spessore è molto variabile a causa della tettonica ma presso l'abitato di Pienza non supera gli 80 metri.

L'esame micropaleontologico (Marini, 2001) ha permesso l'individuazione di Foraminiferi planctonici assegnabili alle Zone a *Sphaeroditopsis seminulina* l.s. ed a *Globorotalia margaritae* e pertanto riferibili al Pliocene Inferiore (Zancleano).

L'associazione a Foraminiferi bentonici indica una batimetria riconducibile alla zona circalitorale da più a meno profonda.

Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico (Losacco, 1963)

Sulle argille della Val d'Orcia poggiano, con contatto netto, arenarie compatte, di colore rosastro e giallo ocre, nelle quali la stratificazione è in genere poco distinta; essa si evidenzia sulle superfici erose, poiché vi appaiono in rilievo livelli più ricchi in carbonato di calcio (Fig. 6). Localmente sono conosciute con i nomi di "Tufo" o di "Tischio". De Stefani (1905) parla dell'arenaria di Pienza come di "roccia abbastanza compatta e non franosa" e dice che questa "fu talora adoprata nelle costruzioni, ma si disgrega alle intemperie", cosicché "si preferisce lo stesso conglomerato delle Cetine, che servì per il Palazzo Piccolomini in Pienza, e meglio ancora quello delle Traverse". Sempre lo stesso Autore riferisce che "Questa roccia, per la sua relativa compattezza, forma un dirupo attorno alla città, specie nella parte meridionale dove appunto è situato il Duomo. Forse la presenza di questo dirupo a uso fortezza, rafforzato poi da torrioni e da muri, fu la prima ragione della costruzione del paese che poi fu Corsignano e Pienza. All'esterno della parete sono delle fessure più o meno ampie, forse in parte artificiali, ed il naturalista Giorgio Santi, che fu nativo di Pienza, dice che in quel conglomerato arenaceo gli Etruschi avevano aperto cave o latomie, come era loro costume". Lo spessore della formazione è variabile e diminuisce verso la parte settentrionale di Pienza dove non supera i 5-6 metri; sotto la Chiesa di S. Caterina è visibile uno spessore di circa 12 metri, mentre nella zona del Duomo i sondaggi l'hanno attraversata per 14-15 metri.

Sulla base dell'esame dei Foraminiferi planctonici (Marini, 2001), la formazione è stata rife-

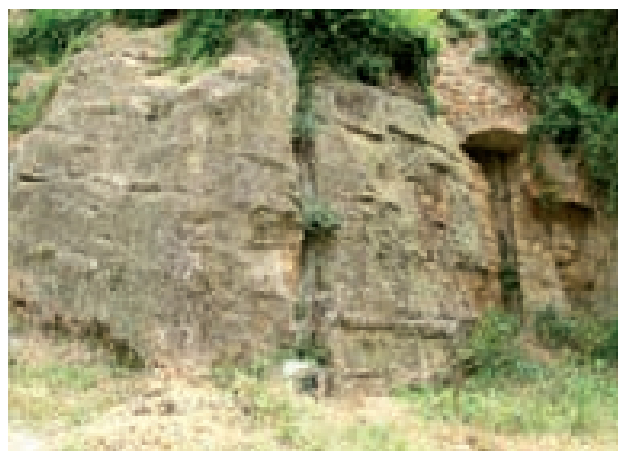


Fig. 6 - Aspetto delle Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico.

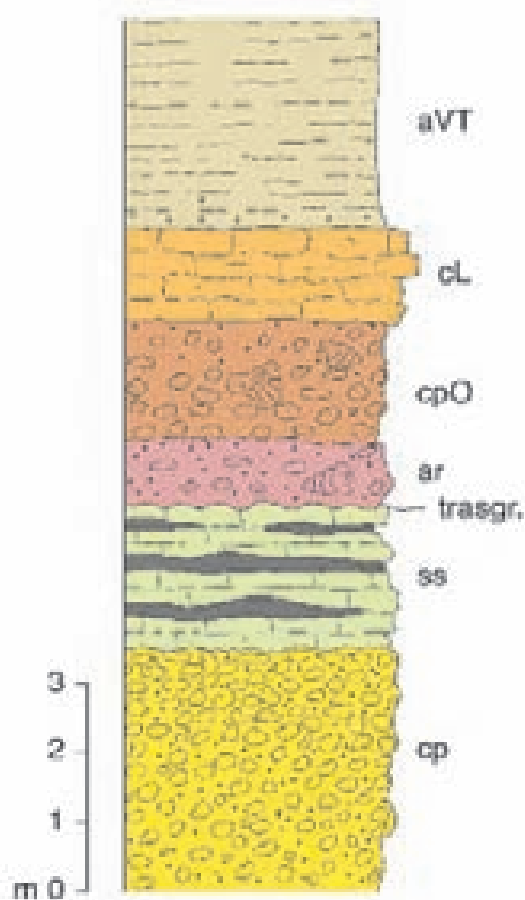


Fig. 7 - Successione di Fosso Mazzini. Spiegazione delle sigle: aVT - Argille della Val Tuoma; cL - Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*; cpO - Conglomerati poligenici ed eterometrici contenenti Ostreidi di grandi dimensioni; ar - Arenarie marine trasgressive con ciottoli sparsi alla base e macrofossili; ss - "Sasso porco"; cp - Conglomerati poligenici.

rita per tutto il suo spessore alla Zona a *Globorotalia margaritae* – *G. puncticulata*, che corrisponde alla parte medio-alta del Pliocene Inferiore (Zancleano).

L'esame dei Foraminiferi bentonici, indica un assottigliamento della colonna d'acqua dalla base al tetto della formazione.

"Sasso porco"

Nella parte alta delle Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico è documentabile un episodio lacustre rappresentato da un calcare fetido conosciuto con i nomi di "Sasso porco" o "Tufo puzzolo" o, più anticamente, di "Etruscite" (Losacco, 1963): si tratta di un calcare marnoso bianco, leggero e poroso, contenente piccoli Gasteropodi di acqua dolce ed Ostracodi. Ad esso si intercalano letti di lignite, dello spessore di poche decine di centimetri, che furono, nei primi decenni del '900, oggetto di escavazione mineraria. Lo spessore complessivo del

"Sasso porco" varia da alcune decine di centimetri a due metri. La parte superiore dello strato carbonatico è intensamente bioturbata e le tracce fossili sono riempite dall'arenaria marina sovrastante.

Entro il Fosso Mazzini, in prossimità del Podere Stozzavolpi, è ben ricostruibile una successione, dello spessore di circa 12 metri, così costituita dall'alto al basso (Fig. 7):

- Argille della Val Tuoma
- Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*
- Conglomerati poligenici ed eterometrici contenenti Ostreidi di grandi dimensioni.
- Arenarie marine trasgressive con ciottoli sparsi alla base e macrofossili.
- "Sasso porco"
- Conglomerati poligenici

I Conglomerati poligenici ed il "Sasso Porco" costituiscono dei corpi lenticolari nella parte alta delle Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico; dove non sono presenti, si ha la diretta sovrapposizione su di esse del Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*. La parte superiore delle Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico, con i locali episodi di ambienti di spiaggia o addirittura di ambiente continentale, rappresenta la fase regressiva del primo ciclo sedimentario pliocenico (Fig. 5) che si estende dalla zona a *Sphaerodindolopsis seminulina* s.l. alla zona a *Globorotalia margaritae* – *G. puncticulata*, comprendendo di conseguenza la base e la parte medio-alta del Pliocene Inferiore.

Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*

Si tratta di un calcare a stratificazione irregolare e spesso indistinta, di colore bianco o giallo oca, con aspetto talvolta travertinoso. È ricco di Molluschi, Foraminiferi ed Alghe. Forma un banco, blandamente inclinato verso NO, dello spessore di 3-4 metri, su cui poggia il centro storico di Pienza. Dal punto di vista tecnico è un buon terreno di fondazione sia per resistenza meccanica sia per caratteristiche idrologiche: sotto quest'ultimo aspetto si può notare infatti che la sua buona permeabilità e l'andamento del substrato impermeabile non consentono all'acqua di raggiungere forti accumuli, lasciando

asciutte le abitazioni. Tra i Molluschi sono stati osservati esemplari di *Pecten* e *Ostrea*, mentre in sezione sottile la frazione organica è rappresentata da Foraminiferi bentonici e planctonici, resti e radioli di Echinidi, resti di Briozoi, di Molluschi, di *Lithothamnium*, e tubi di Anellidi.

La presenza, tra i Foraminiferi planctonici, di *Globorotalia puncticulata* permette di riferire la formazione alla parte alta dello Zancleano (Pliocene Inferiore). Il contenuto organico permette di desumere un ambiente di mare basso.

Sabbie a Brachiopodi

Questo livello dello spessore di 2-3 metri sostituisce lateralmente, in maniera parziale o totale, il Calcere organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*. È costituito da sabbie gialle a grana medio-grossolana, ricche di una associazione a Brachiopodi, in gran parte assegnabili al gruppo dei Terebratulidi, e contenenti anche rari Pectinidi. Sulla base dello studio dei Foraminiferi planctonici, questa unità può essere riferita alla Zona a *Globorotalia puncticulata* e di conseguenza alla sommità del Pliocene Inferiore. Rispetto all'unità sopradescritta, l'associazione a Foraminiferi bentonici suggerisce un ambiente marino poco più profondo.

Il Calcere organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina* e le Sabbie a Brachiopodi costituiscono la base trasgressiva del secondo ciclo pliocenico (Fig. 5).

Argille della Val Tuoma (Losacco, 1963)

Conosciute anche con il nome di "argille superiori" (Fazzini & Mantovani, 1968) sono argille marnose di colore grigio-azzurro. Alla base e al tetto compaiono delle litofacies più sabbiose che costituiscono i termini di transizione alle unità sotto e soprastanti. Complessivamente lo spessore della formazione è di circa 50 metri. La microfauna a Foraminiferi planctonici è riferibile alla Zona a *Globorotalia puncticulata* (Marini, 2001), corrispondente alla parte sommitale del Pliocene Inferiore. Con le Argille della Val Tuoma l'ambiente di sedimentazione raggiunge il massimo approfondimento.

Sabbie di Palazzo Massaini

In passato erano conosciute con il nome di "Sabbie superiori" (Losacco, 1963; Fazzini e

Mantovani, 1968). Sono sabbie a grana da media a grossolana, di colore giallo oca, più o meno agglomerate e mai fortemente cementate (Losacco, 1963). Nell'area di Palazzo Massaini la porzione affiorante è di poche decine di metri di spessore. Localmente vi si trovano Ostreidi e Pectinidi di grandi dimensioni. La microfauna è estremamente scarsa; i rari organismi bentonici suggeriscono un ambiente di sedimentazione di spiaggia. In base alla posizione stratigrafica, in diretta continuità di sedimentazione sulle Argille della Val Tuoma, la formazione viene ipoteticamente attribuita al tetto del Pliocene Inferiore.

Con questa formazione si chiude il secondo ciclo pliocenico, iniziato con i depositi trasgressivi del Calcere organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina* e delle Sabbie a Brachiopodi. Esso, verosimilmente, è tutto compreso nella Zona a *Globorotalia puncticulata* (Fig. 5).

Le odierne conoscenze sull'assetto strutturale dell'abitato di Pienza

Gli elementi tettonici più significativi, emersi dai rilevamenti geologici della zona abitativa e industriale di Pienza, sono rappresentati da faglie e fratture che sono le principali responsabili dei dissesti del Centro storico. In particolare sono stati rilevati due elementi deformativi subparalleli, rispettivamente a SSO e a NNE dell'abitato (Fig. 8). Il primo, noto con il nome di "Faglia di Pienza", è in realtà costituito da un fascio di faglie, localmente vicarianti, a direzione ONO-ESE ed immersione verso i quadranti meridionali. È il principale responsabile dei dissesti del Centro storico ed, in particolare, del Duomo. Il secondo, che indicheremo con il nome di "Faglia delle Fontanelle", ha direzione NO-SE ed immersione a NE; ha un rigetto di pochi metri e non sembra aver interessato il Centro storico, se non forse nella sua estremità sud-orientale. Un terzo elemento, a direzione NE-SO, meno significativo dal punto di vista tettonico, interrompe le due strutture sopraindicate sul lato sud-orientale dell'abitato. Questi tre elementi tettonici permettono di suddividere l'area in tre settori: un settore meridionale che, come vedremo risulta il più dissestato; un settore centrale, stabile, con un buon terreno di fon-

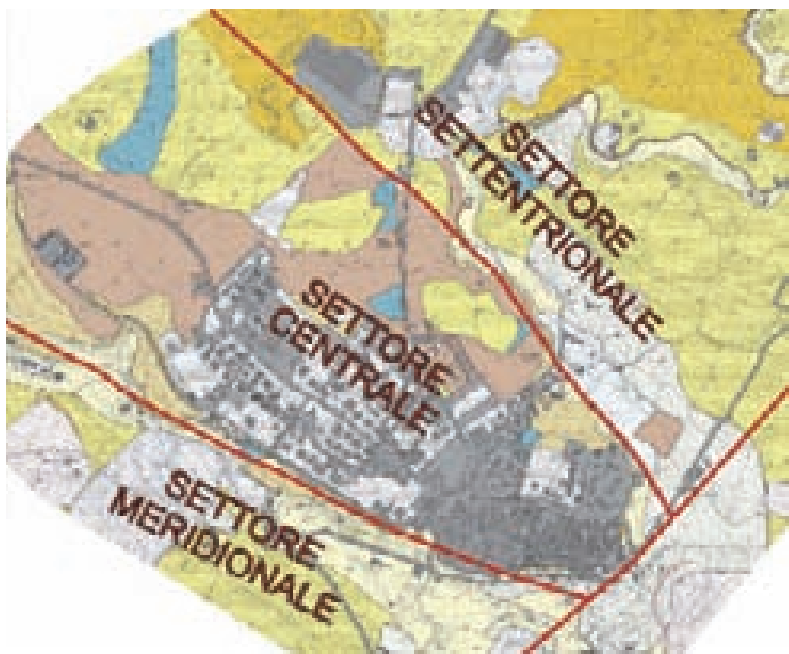


Fig. 8 - I tre settori, con caratteri morfostrutturali diversi, nell'area di Pienza.

dazione, che comprende gran parte del Centro storico; un settore nord – orientale, dominato da affioramenti argillosi, dove si è sviluppata l'industria del laterizio (Fig. 8). Noi ci occuperemo essenzialmente del settore meridionale sul quale si affacciano le parti più dissestate del Duomo e del Centro storico.

Assetto strutturale del settore meridionale

Gli elementi conoscitivi di tale settore ci sono stati forniti dalle osservazioni di campagna, dalla fotogeologia e dall'esame delle stratigrafie e delle carote dei sondaggi a rotazione, eseguiti negli anni '50 e negli anni '80, per indagare sulle cause dei dissesti del Duomo (Calabresi *et al.*, 1992; Lazza-

rotto & Micheluccini, 1992; Izzo *et al.*, 1992; Calabresi *et al.*, 1995).

Detti sondaggi, ubicati intorno alla Cattedrale, hanno rivelato la presenza di salti di quota delle superfici di contatto stratigrafiche, che sono conseguenti a disturbi tettonici facilmente identificabili in faglie orientate all'incirca in direzione ONO-ESE ed immergenti verso S (Figg. 9 e 10). Ciò era già stato messo in evidenza, del resto, nella stessa relazione scientifica del 1956, curata, per la parte geologica, dal Prof. Manfredini dell'Università di Roma. In tale relazione era stata riconosciuta l'esistenza di due faglie parallele, e si era anche ipotizzata la presenza di una terza

faglia obliqua, a direzione NO-SE, senza che ne fossero indicate le caratteristiche geometriche.

Quest'ultima tuttavia, nell'ambito delle nuove indagini, non è stata identificata. Per quanto concerne le altre due, alla luce degli elementi geognostici, acquisiti negli anni '80, e particolarmente di quelli scaturiti dal carotaggio continuo suborizzontale S15 (Fig.11), si può precisare quanto segue: alla grossa frattura che lambisce l'abside del Duomo nella parte più meridionale e che costituisce la faglia principale, fanno seguito, a N di essa, alcune faglie minori di richiamo quasi tutte subverticali. Queste interessano un intervallo di 25 m. La prima di esse, che si incontra alla progressiva 25,20 è

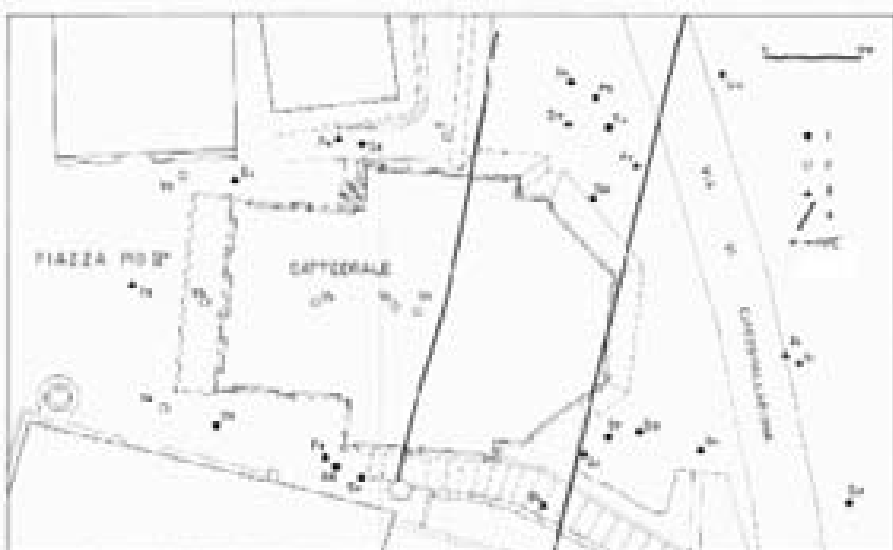


Fig. 9 - Le faglie che interessano l'abside ed il transetto del Duomo.

quella più vistosa: viene attraversata dal sondaggio in corrispondenza della parte bassa dell'arenaria e presenta tracce di mineralizzazione (in particolare ossidi e idrossidi di ferro) ed un sottile strato di materiale cataclastico. Le altre, comprese fra le progressive 27,5 e 51,1, sono tutte all'interno dell'argilla e presentano superfici di taglio molto nette, tappezzate di cristallini di gesso. Ciascuna di esse è contor-

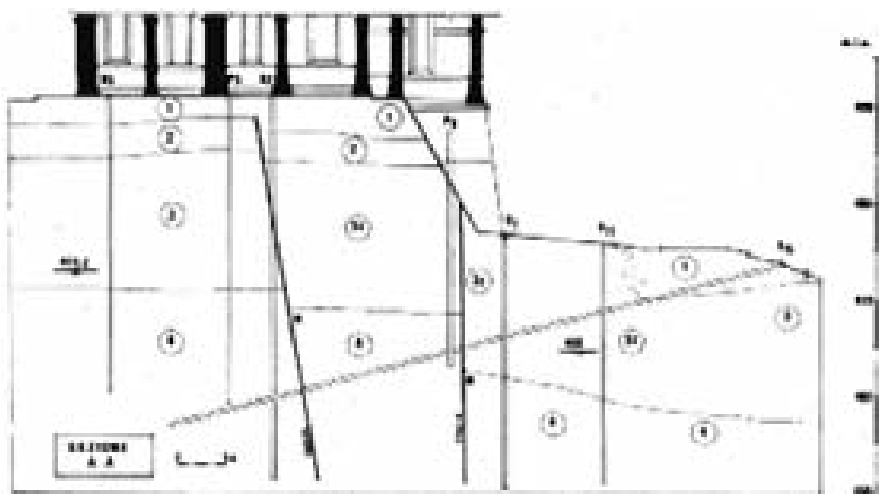


Fig. 10 - Sezione longitudinale attraverso il Duomo ed i terreni di fondazione. Spiegazione delle sigle: 1- materiale di riporto; 2 - Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*; 3 - Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico (3F - molto fratturate nel settore interessato dalle faglie); 4 - Argille della Val d'Orcia.

nata da una banda di ossidazione della larghezza di alcuni centimetri. La faglia principale trova una sua individuazione anche col rilevamento di superficie, che ha consentito di seguirla verso O, attraverso l'abitato di Pienza, per le lesioni provocate nelle strutture murarie che si trovano lungo il suo decorso (Figg.12 e 13).

Direttamente visibile appare poi lungo la strada di S. Caterina, dove la scarpata non è altro che lo specchio della faglia stessa (Figg. 14 e 15): qui è stato facile misurarne il rigetto, che è risultato di circa 12 metri. Esso decresce chiaramente da

ONO a ESE; dal valore ora indicato, infatti, si passa a circa 4 metri sul lato occidentale del Duomo e a 3,5 su quello orientale (misure ricavate dai sondaggi verticali). Nel tratto interessante il Duomo e l'abitato di Pienza, la faglia in argomento ha una direzione molto prossima a ONO-ESE; il suo piano immerge sostanzialmente verso S con una inclinazione vicina alla verticale.

Le faglie minori più settentrionali determinano una serie di gradini con un rigetto complessivo di circa 2 m e con valore maggiore sul lato orientale del Duomo rispetto a quello occidentale. Queste ultime non è stato possibile seguirle al di fuori del Centro Storico, attraverso il rilevamento di campagna. Per la loro individuazione si è tenuto conto dei sondaggi verticali, eseguiti intorno al Duomo, di quello suborizzontale, delle fratture più recenti (e della loro direzione) all'interno del Duomo e degli edifici adiacenti, nonché del rilievo delle fratture eseguito all'interno delle cavità artificiali, presenti nel sottosuolo pientino.

to complessivo di circa 2 m e con valore maggiore sul lato orientale del Duomo rispetto a quello occidentale. Queste ultime non è stato possibile seguirle al di fuori del Centro Storico, attraverso il rilevamento di campagna. Per la loro individuazione si è tenuto conto dei sondaggi verticali, eseguiti intorno al Duomo, di quello suborizzontale, delle fratture più recenti (e della loro direzione) all'interno del Duomo e degli edifici adiacenti, nonché del rilievo delle fratture eseguito all'interno delle cavità artificiali, presenti nel sottosuolo pientino.

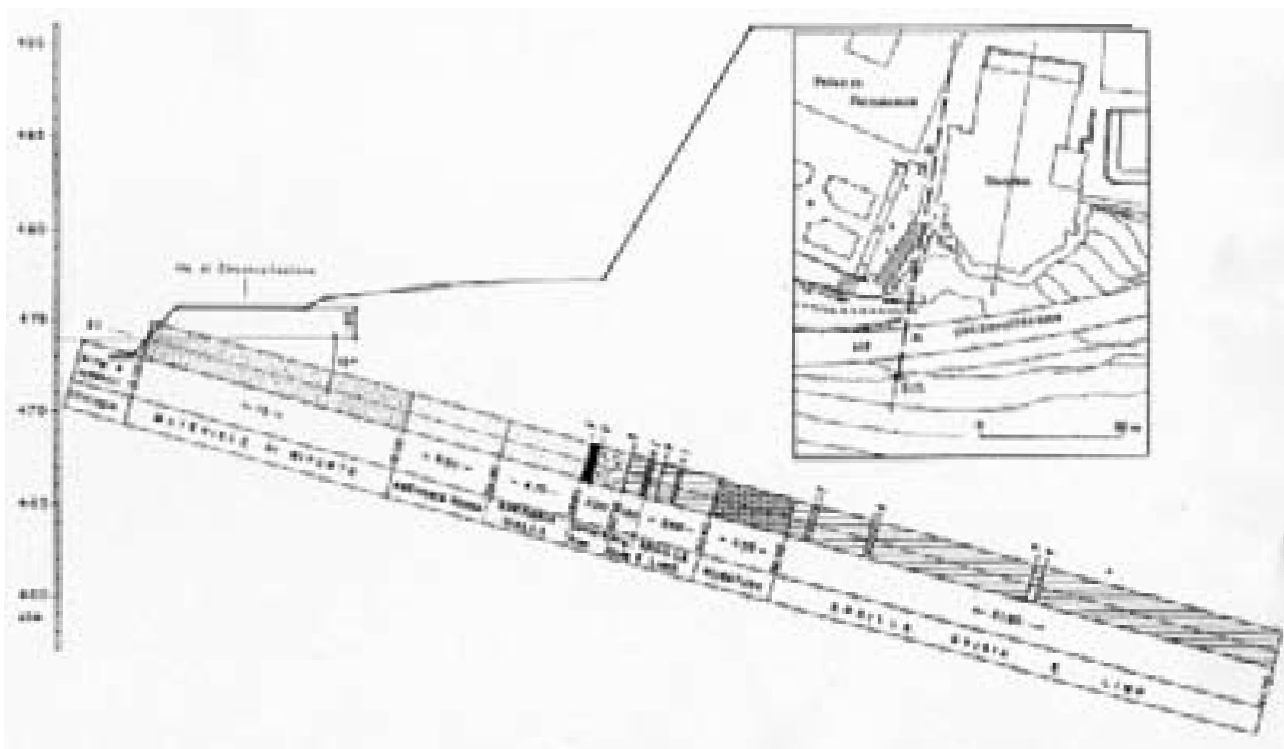


Fig. 11 - Sondaggio sub orizzontale S15. La spiegazione è nel testo.



Fig. 12 - Lesione nella volta di una cantina sottostante il giardino pensile del Palazzo Piccolomini. In corrispondenza della lesione la volta è rigettata di circa 50 cm.

Prescindendo da un certo carattere di vicarianza, che le faglie minori sembrano esprimere rispetto a quella principale, riteniamo importante rilevare che tutte queste fratture, nel loro complesso, dividono l'area in esame in due blocchi principali con diverse inclinazioni: le misure, effettuate sul blocco settentrionale (settore centrale di Fig. 8), mostrano una generale immersione degli strati verso NE ed una loro inclinazione non superiore a 5 gradi; quelle effettuate sul settore meridionale, in prossimità della faglia principale, mostrano invece una prevalente immersione verso SSO ed una inclinazione di 15-16 gradi.

Le diverse indagini conoscitive fin qui esposte, hanno indotto ad attribuire i dissesti del Centro storico di Pienza a fattori strettamente collegati all'assetto geologico. Ci riferiamo al siste-



Fig. 14 - La faglia di Pienza sotto la Strada di S. Caterina: il Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina* è ribassato, a sud della faglia, di 12 metri.



Fig. 13 - Lesioni sul muro del giardino pensile di Palazzo Piccolomini.

ma di faglie e fratture che delimitano l'abitato nella parte meridionale. In particolare la faglia principale, messa in evidenza nelle carte geologiche, è a nostro avviso la principale responsabile dei dissesti, non solo del Duomo ma di tutto il bordo sud-occidentale dell'abitato di Pienza.

Una prima ipotesi di lavoro, emersa negli anni '80 sull'onda degli studi di neotettonica, è che si trattasse di una faglia attiva. A favore di questa ipotesi esiste una testimonianza di Vincenzo Vannucci, cittadino pientino, relativa ad un forte terremoto del 1545. È questo il più grave terremoto documentato nell'area di Pienza; un altro è citato nelle "Memorie capitalari" (4 aprile 1679, vol. IV, foglio 164) come un "terribile terremoto", verificatosi il 24 marzo 1679 e del quale tuttavia, non vengono riferiti i danni arrecati sulla cittadina (com. orale di Monsignor Franci). A seguito di queste notizie, Pienza, che nella classificazione sismica del 1982 non era stata inserita fra i comuni a rischio sismico, nella successiva ordinanza PCM n° 3274 del 20/03/2003, è stata collocata nella zona 3.

Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV)

Al fine di valutare quale significato potesse assumere questo sistema di faglie in relazione ai dissesti del Duomo e della parte meridionale dell'abitato di Pienza, la Commissio-

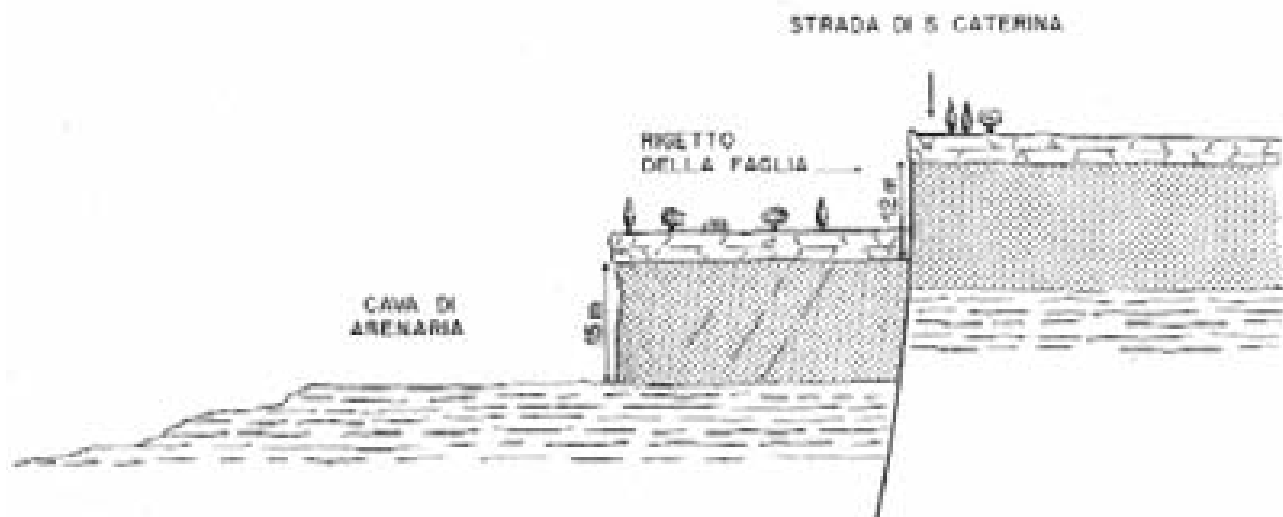


Fig. 15 - Sezione attraverso la faglia di Pienza sotto la strada di S. Caterina (da Izzo *et al.*, 1992).

ne, nominata con D.M. del 16/02/1979, propose un intervento di livellazione di alta precisione lungo la fascia interessata dalla deformazione anzidetta. Nel 1983 furono posizionati 58 capisaldi lungo detta fascia e nell'arco di tempo di 10 anni (1983-1992), con esclusione del solo periodo 1990-1991, furono condotte 9 campagne di misura di spostamenti verticali per intervalli più o meno regolari (Izzo *et al.*, 1992; Guidi, 1992; Calabresi *et al.*, 1995). Per ciascuna campagna furono registrati gli abbassamenti millimetrici, calcolati come differenza fra le quote misurate in ciascun rilievo e quella del primo rilievo. Tali dati furono elaborati con tecniche di cartografia digitale (carte delle isocatabatiche). Fin dalle prime campagne apparve chiaro che alcuni settori erano soggetti ad un lento abbassamento mentre altri risultavano relativamente stabili. Il fenomeno assume la sua massima evidenza nella carta delle isocatabatiche del Novembre 1992, che mostra la somma degli spostamenti verticali verificatisi nei 10 anni di misurazioni (Fig. 16).

I settori soggetti ad abbassamento si estendono lungo due fasce: una, allungata in direzione ONO-ESE, si estende nella parte meridionale dell'abitato di Pienza, parallelamente all'andamento della faglia principale, in corrispondenza del blocco ribassato; l'altra interessa il settore sud-orientale dell'abitato e si allunga secondo una direzione NE-SO, formando con la prima un angolo di circa 110°.

Pertanto la direzione di queste due fasce coincide perfettamente con le principali direttri-

ci tettoniche rilevate nelle aree circostanti il Centro storico (Fig. 8).

L'abbassamento lungo le fasce non è uniforme: il modello, calcolato in base alla campagna di misure più recente, evidenzia, per la prima fascia, due zone di sprofondamento maggiore. Quella dove si verifica il massimo sprofondamento, interessa la parte meridionale del gruppo di edifici posti ad ovest del Duomo e solo marginalmente il Duomo stesso; l'altra si trova sotto il viale S. Caterina e presenta il massimo nella parte iniziale della strada.

Per meglio evidenziare l'andamento degli abbassamenti sono stati effettuati 5 profili trasversali ed uno longitudinale, la cui traccia è indicata in Fig. 16. In ciascun profilo sono indicati, con simbologia diversa, gli abbassamenti calcolati nelle varie campagne di misura (Fig. 17).

Tutti i profili trasversali della prima fascia rivelano un forte gradiente di abbassamento fra la zona settentrionale stabile e la zona meridionale in sprofondamento, ad indicare che il passaggio fra queste due zone si verifica lungo una superficie di discontinuità. In particolare nel profilo D-D' passante per il Duomo si nota che, mentre in un primo tratto si ha una stabilità pressoché assoluta, proprio all'altezza dell'abside inizia un repentino abbassamento. In un punto a circa 50 metri a OSO dello stesso, nell'arco di 9 anni e 5 mesi si è raggiunto il valore massimo di 12 mm.

Sulla base, dunque, dei risultati delle misure topografiche di precisione, pluriennali, è emerso che il blocco di tetto della faglia di Pienza

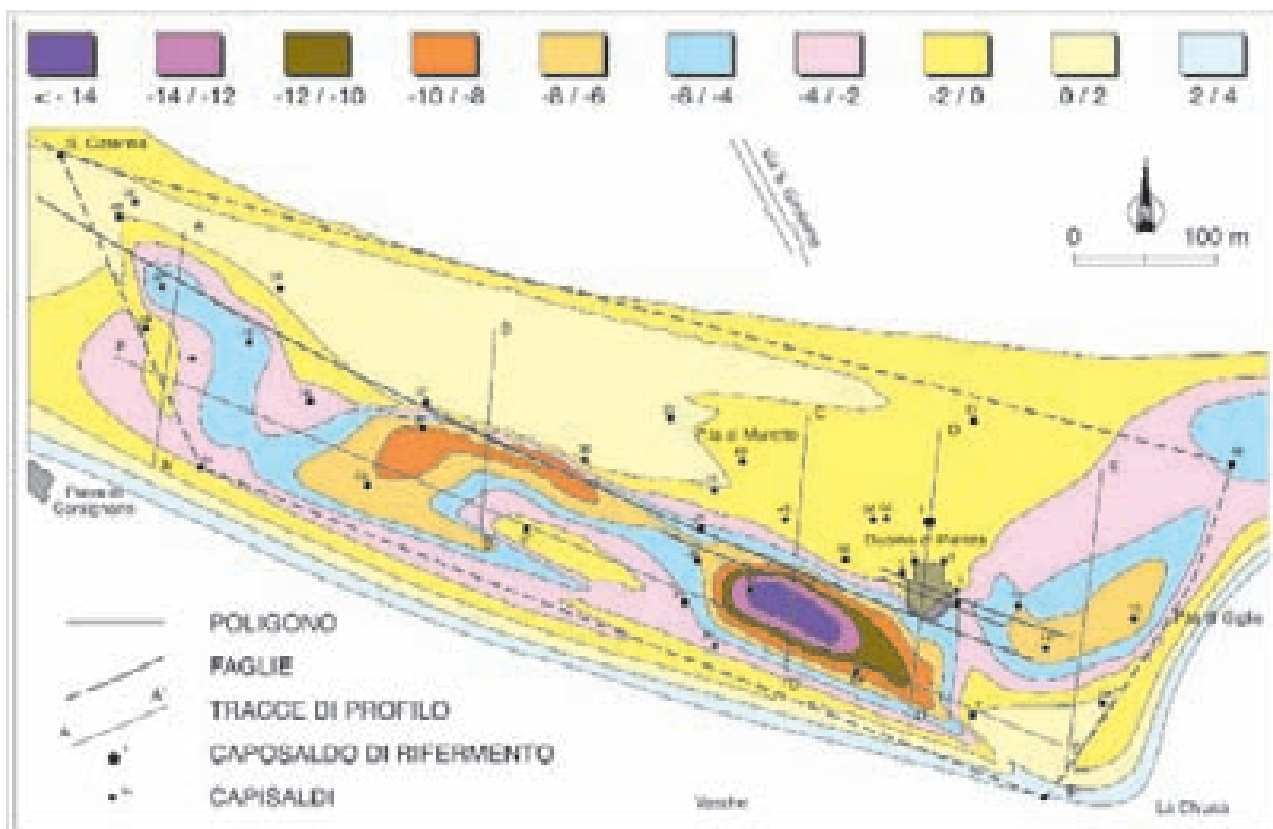


Fig. 16 - Carta delle isocatabatiche al novembre 1992.

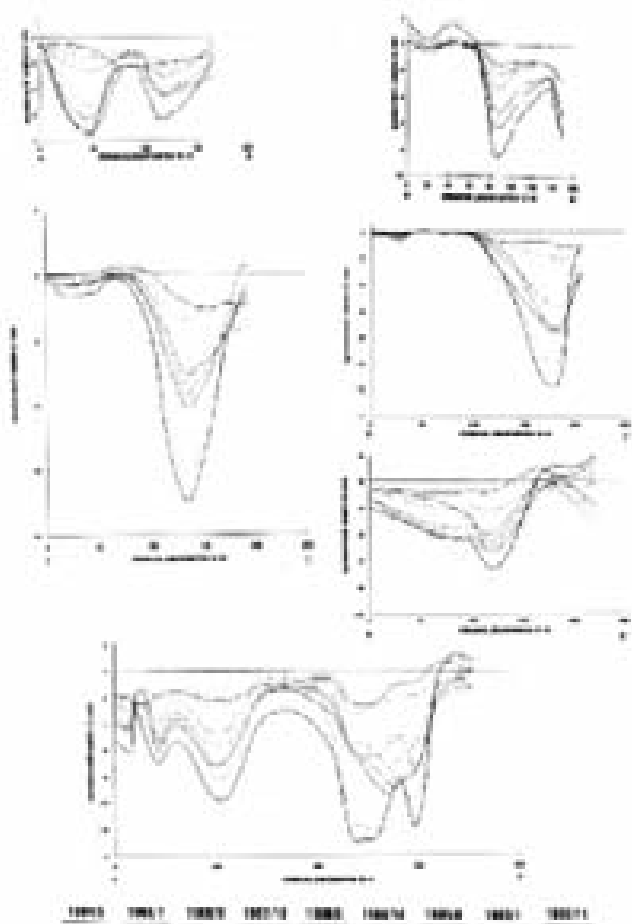


Fig. 17 - Profili degli spostamenti verticali; le tracce sono visibili in figura 16.

risulta essere tutt'oggi in costante abbassamento relativo. Se tale abbassamento fosse ascrivibile all'attività odierna della faglia, avremmo dovuto avere una diversa storia sismica del luogo. Dal catalogo dei terremoti, non risulta con sicurezza che Pienza sia stata sede in tempi storici di epicentri di eventi sismici (Farsi & Mantovani, 1992).

Tuttavia uno dei due terremoti non catalogati (quello del 1545, documentato da Vincenzo Vannucci), avrebbe provocato, oltre a vari danni agli edifici, un «cretto» nelle strutture del Duomo e del Centro storico. Ma la mancanza, nel catalogo di riscontri regionali, dei due terremoti suddetti, farebbe pensare ad una attività sismica estremamente localizzata e poco profonda, che potrebbe essere anche imputabile ad un esteso fenomeno di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (Calabresi *et al.*, 1995). Di tale fenomeno esistono numerose segnalazioni nella letteratura geologica in varie località italiane ed, in particolare, nell'Appennino meridionale (vedere in proposito gli atti del Seminario sulle DGPV del Gruppo informale CNR, svoltosi a Chiusi della Verna il 24-28 maggio 1993). E, sia pure più



Fig. 18 - Versante meridionale del rilievo di Pienza con indizi di movimenti del pendio.

raramente, vengono presentati esempi anche su terreni simili a quelli del versante meridionale di Pienza, cioè su argille sovraconsolidate (Genevois & Tecca, 1984).

Conclusioni

Dei fenomeni morfologici sopraindicati, che interessano in pratica tutto il settore meridionale (Fig. 18) e quello sud-orientale, si hanno notevoli indizi geomorfologici (contropendenze, zone di accentuato ruscellamento, piccole frane in atto, etc.), come risulta dalla Carta Geomorfologica (Fig. 19). Tali indizi indicano movimenti di vaste e profonde porzioni del sottosuolo. Le superfici di distacco di questi movimenti insisterebbero per la massima parte nelle Argille della Val d'Orcia. In considerazione delle caratteristiche meccaniche delle suddette argille (che alle prove geotecniche sono risultate fortemente sovraconsolidate), tali superfici si collocano probabilmente in corrispondenza di discontinuità tettoniche preesistenti (accertate geologicamente o ipotizzate geomorfologicamente e di cui esistono altri indizi, come ad esempio emergenze di acque sulfuree), o di orizzonti a diversa composizione litologica (livelli sabbiosi acquiferi) (Fig. 20).

Per concludere, concordiamo con Calabresi *et al.* (1995) nell'affermare che "Le cause dei dissesti in questione potrebbero quindi essere fatte risalire a una attività pre-olocenica di elevata intensità delle faglie accertate geologicamente o ipotizzate geomorfologicamente, che avrebbe impostato in un tempo breve il versante sud occidentale del dosso nonché l'approfondimento dell'incisione del tratto intermedio del T. Rigo. I fenomeni attuali potrebbero costituire la fase tardiva della evoluzione dei versanti in questione. Non si può escludere tuttavia che ad essi si aggiungano gli effetti di un trend continuo di attività delle faglie della zona, che peraltro in tempi storici non ha manifestato episodi parossistici".

menzi attuali potrebbero costituire la fase tardiva della evoluzione dei versanti in questione. Non si può escludere tuttavia che ad essi si aggiungano gli effetti di un trend continuo di attività delle faglie della zona, che peraltro in tempi storici non ha manifestato episodi parossistici".

Testi citati

Barbacci A. (1934) – *Il restauro del Duomo di Pienza*. La Diana, 9(1-2), 1-358.

Berti A. (1992) – *Indagini geomorfologiche e idrogeologiche*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984*, Studi e Restauri. Cantini Ed.-Firenze: 99-102.

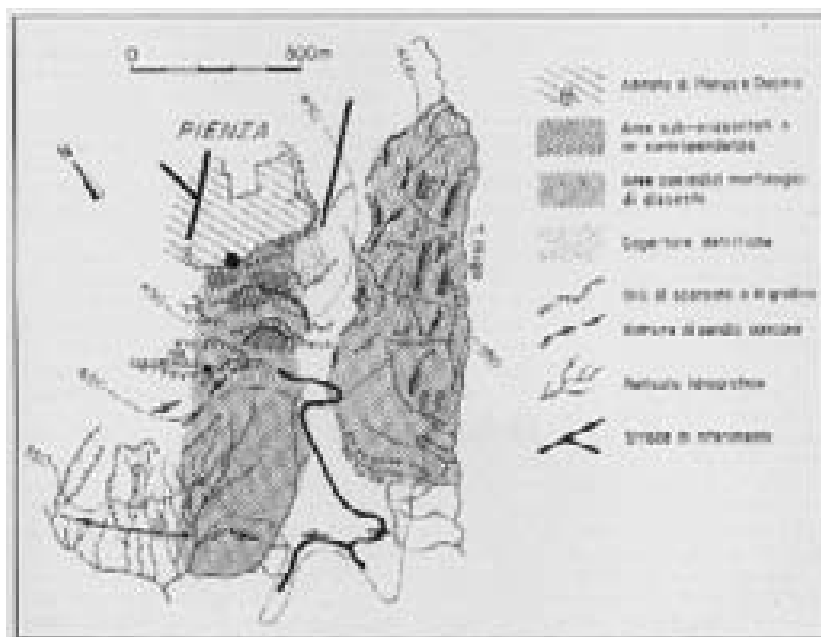


Fig. 19 - Schizzo geomorfologico dei versanti meridionale e sud-orientale del rilievo di Pienza (da Pieruccini, 1982).



Fig. 20 - Sezione geologica trasversale al versante meridionale di Pienza. In rosso sono indicate le faglie rilevate o riconosciute con la fotogeologia. Spiegazione delle sigle: d – detrito superficiale; cL – Calcare organogeno a *Lithothamnium* e ad *Amphistegina*; sP – Sabbie gialle ed arenarie di Pienza e S. Quirico; aVO – Argille della Val d'Orcia.

Calabresi G. (1992) – *I terreni e le strutture di fondazione del Duomo di Pienza*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 144-153.

Calabresi G., Izzo S., Lazzarotto A., Menicori P. & Pieruccini U. (1995) – *Movimenti gravitativi nell'area di Pienza*. Boll. Soc. Geol. It.: 50, 67-82.

Calabresi G., Lazzarotto A. & Micheluccini M. (1992) – *Conclusioni*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 162-163.

Calabresi G., Lazzarotto A. & Micheluccini M. (1988) – *The Cathedral of Pienza, Italy, and its foundation soils*. In: Proceedings of an international Symposium Organized by the Greek National Group of IAEG - *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites*. Marinos & Koukis eds.; Balkema, Rotterdam: 459-468

Costantini A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1982) – *Conoscenze geologico-strutturali*. In: *Il Graben di Siena*. CNR, PFE, R.F. 9, PEG Ed. Milano: 11-33.

De Stefani C. (1905) – *La frana del Duomo di Pienza*. Giorn. di Geol. Pratica, 7(1-2): 1-7.

Farsi F. & Mantovani E. (1992) – *Indagini sull'attività sismica nell'area di Pienza*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 103-106.

Forlani Conti M. (1992) – *La Cattedrale di Pienza e i suoi dissesti attraverso i documenti di archivio*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 17-57.

Genevois R. & Tecca P.R. – *Alcune conside-*

razioni sulle «Deformazioni gravitative profonde» in argille sovraconsolidate. Boll. Soc. Geol. It., 103: 717-729.

Guidi F. (1992) – *Studi topografici con livellazione geometrica di alta precisione*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 106-109.

Izzo S., Lazzarotto A. & Menicori P. (1992) – *Elementi geologici dell'area di Pienza*. In: *Il Duomo di Pienza, Cinque Secoli di Restauri*. Atti Conv. Pontignano – 6 giugno 1992 – Centroffset Siena: 21-35.

Lazzarotto A. & Micheluccini M. (1992) – *Indagini geologiche*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 94-98.

Marini L. (2001) – *Stratigrafia delle Formazioni plioceniche nell'area a nord di Pienza*. Tesi di Laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena.

Mannucci G.B. (1937) – *Pienza. Arte e Storia*. Ristampa anastatica della III Edizione del 1937. Editrice Don Chisciote (2005), S. Quirico d'Orcia: 386 pp.

Nizzi Grifi L. (1992) – *Relazione sulle indagini strutturali del Duomo di Pienza*. In: *Il Duomo di Pienza, 1459-1984, Studi e Restauri*. Cantini Ed.-Firenze: 82-93.

Pieruccini U. (1992) – *Nuove indagini geomorfologiche*. In: *Il Duomo di Pienza, Cinque Secoli di Restauri*. Atti Conv. Pontignano – 6 giugno 1992 – Centroffset Siena: 45-47.

Presenza di composti organici persistenti in uova di due specie di Gabbiano, *Larus argentatus* e *Larus audouinii*, dell'Arcipelago Toscano e della Sardegna

Francesca Burali

Via Isola di Capraia, 1 - 58020 Scarlino Scalo (GR)

Tra le 26 aree marine protette che sono state istituite nel Mar Mediterraneo, quelle dell'Arcipelago Toscano e della costa occidentale della Sardegna rivestono un particolare interesse per il significativo patrimonio naturale ed ambientale che ospitano. Una delle minacce per gli ecosistemi di queste aree e, quindi, per gli organismi che ne fanno parte, è sicuramente l'inquinamento. Al fine di monitorarne il grado di contaminazione ambientale, vengono utilizzate con successo le uova di uccelli marini.

L'Arcipelago Toscano è un parco nazionale marino, istituito con la legge n°305 del 28 Agosto 1989 e successivo D.P.R del 22 Luglio 1996, che per la sua estensione areale (terrestre e marina) di 79.168 ettari, risulta essere il più grande d'Europa (Fig. 1). Le isole principali di questo Arcipelago – Capraia, Montecristo, Gorgona, Elba, Giannutri, Pianosa e Giglio – sono di formazione geologica diversa, ospitano ecosistemi includenti un gran numero di endemismi animali e vegetali, e costituiscono un punto di sosta e di nidificazione per molti uccelli migratori. Tra questi ultimi spiccano il Gabbiano còrso, simbolo del parco e specie endemica del Mediterraneo, e il Gabbiano reale,

presente con numerose colonie che nel corso degli ultimi 30 anni si sono adattate progressivamente allo sfruttamento alimentare delle discariche.

Lungo la costa occidentale della Sardegna sono ubicate a Nord le isole Piana e Asinara, a Sud quelle di Mal di Ventre e San Pietro (Fig. 1). L'Isola Asinara e quella di Mal di Ventre sono state istituite rispettivamente come parco nazionale e come area marina protetta (Decreto del Ministero dell'Ambiente del 1997); l'Isola Piana, invece, costituisce l'area protetta di "Capo Caccia" (Decreto ministeriale del 2002), mentre l'Isola di San Pietro ospita il centro abitato di Carloforte ed una tonnara ancora attiva.



Fig. 1 - Arcipelago Toscano e Sardegna.

Nonostante le numerose aree protette che lo caratterizzano, il Mediterraneo è da considerarsi uno dei mari più inquinati a causa dell'immissione di grandi quantità di contaminanti organici da parte dei Paesi europei e africani che lo circondano (naturalmente le caratteristiche geografiche, il clima, l'andamento delle correnti marine e i tempi di *turnover* di questo mare non favoriscono lo smaltimento dei contaminanti stessi). È a partire dal periodo compreso tra le due guerre mondiali, infatti, che si è assistito ad un graduale e crescente aumento dell'utilizzo di composti di sintesi in tutti i settori dell'attività umana (Tallandini *et al.*, 1986). Inoltre l'immissione nell'ambiente da parte dell'industria chimica di composti xenobiotici (dal greco *xenos* = estraneo e *bios* = vita: cioè estranei agli ecosistemi naturali ed ai vari processi fisiologici e metabolici degli organismi) risulta essere una diretta conseguenza dello sviluppo agricolo ed industriale. L'elevata persistenza nell'ambiente, la scarsa solubilità in acqua, l'affinità per i lipidi, la volatilità e la tossicità sono caratteristiche chimiche comuni a tali composti, i quali per questi motivi vengono anche denominati "contaminanti organici persistenti" (*Persistent Organic Pollutants*, POP) (Weber *et al.*, 2003). Tra questi, il gruppo più ampio è rappresentato dai policlorobifenili, consistenti in miscele commerciali di 209 congeneri, i quali sono stati sfruttati in applicazioni industriali quali fluidi dielettrici per accumulatori e trasformatori, fluidi per sistemi idraulici e radiatori, lubrificanti ed oli da taglio industriali, additivi di pesticidi, carta copiatrice, adesivi, composti plastici e vernici (Pavan *et al.*, 2003). Appartiene a questo insieme di composti organici anche l'esaclorobenzene (HCB), utilizzato inizialmente come fungicida per le coltivazioni e successivamente nei coloranti, nella produzione delle munizioni, nell'industria della gomma, come conservante per il legno e come agente plastificante nella produzione dell'alluminio. Tuttavia il composto più conosciuto dei POP è sicuramente il DDT. Durante la Seconda Guerra Mondiale e nel periodo immediatamente successivo il DDT è stato largamente usato, come insetticida nei confronti delle zanzare del genere *Anopheles*, per proteggere il bestiame ed i civili dalla diffusione del tifo e della malaria, nonché per usi agricoli e forestali.

I composti organici che presentano queste caratteristiche sono tali da permettere fenomeni quali il trasporto, la biomagnificazione (arricchimento di POP attraverso la dieta), la bioconcentra-

zione (arricchimento di POP mediante le superfici respiratorie: branchie, polmoni, foglia), il bioaccumulo (arricchimento di POP attraverso tutte le vie possibili: contatto, respirazione, ingestione) e l'insorgenza di effetti tossici negli organismi.

Il largo impiego dei contaminanti organici persistenti ha portato alla loro diffusione nell'ambiente e alla loro concentrazione negli organismi acquatici e terrestri, in particolare in quelli che occupano i livelli più alti della catena trofica (a causa della biomagnificazione). Alcuni di questi contaminanti alterano, o addirittura distruggono (EDC), la funzionalità del sistema endocrino (Fossi, 2000; Corsolini *et al.*, 2007).

I fattori climatici influenzano largamente il trasporto dei POP (sotto forma di gas o di aerosol) con le masse d'aria. Le temperature elevate delle zone tropicali e subtropicali, ad esempio, favoriscono i processi di evaporazione delle sostanze verso l'atmosfera, immettendole in un flusso di trasporto su vasta scala; al contrario, le temperature fredde delle alte latitudini favoriscono i processi di deposizione. La migrazione dei POP dai luoghi di rilascio avviene attraverso una serie di "salti", i quali nell'insieme costituiscono il cosiddetto "effetto cavalletta" (*Grasshopping effect*). Tali salti sono determinati dall'alternarsi di successive evaporazioni e condensazioni, la cui ampiezza è in funzione delle proprietà partitive della sostanza e della temperatura. I processi di volatilizzazione permettono ai POP di separarsi e migrare mediante un meccanismo di distillazione, con effetto diverso in funzione della volatilità dei vari composti (Wania & Mackay, 1996). I composti estremamente volatili sono in grado di raggiungere gli strati alti dell'atmosfera e sfuggire a significativi meccanismi di ricondensazione (Gouin *et al.*, 2004).

In Italia l'utilizzo agricolo della maggior parte di composti organoclorurati è stato proibito negli anni '70, mentre l'utilizzo dei policlorobifenili è stato limitato a partire dal 1984. Tuttavia, studi recenti hanno dimostrato che tali composti chimici persistono negli ecosistemi sia acquatici che terrestri (De Liguoro *et al.*, 2002; Naso *et al.*, 2003). Ciò è confermato anche dallo studio presentato in questo articolo e relativo alla determinazione di POP in campioni di uova di Gabbiano reale e Gabbiano corso. In proposito si rileva che l'utilizzo degli uccelli marini e delle loro uova ha finora dimostrato di essere un valido strumento per studi di monitoraggio della contaminazione ambientale, in quanto tali organismi occupano i livelli più alti

delle reti trofiche (Albanis *et al.*, 2003).

I principali obiettivi del presente studio sono i seguenti:

- determinazione dei livelli di policlorobifenili (PCB), esaclorobenzene (HCB) e *p,p'*-DDE (metabolita del DDT) in campioni di uova raccolti sotto licenza nelle isole dell'Arcipelago Toscano ed in quelle prossime alla Sardegna occidentale durante un censimento effettuato negli anni 2004-2005;
- confronto dei risultati ottenuti per le due specie, considerando i diversi stili di vita, i diversi habitat e le differenti abitudini alimentari;
- confronto dei livelli di PCB, HCB e *p,p'*-DDE rilevati nei campioni di uova di Gabbiano corso provenienti dalle Isole della Sardegna con quelli rilevati nei campioni provenienti dall'Arcipelago Toscano;
- valutazione di un possibile cambiamento dei livelli di composti organoclorurati negli ultimi 20 anni, attraverso il confronto con uno studio simile condotto negli anni 1981-1986 su campioni di uova delle stesse specie di gabbiano provenienti dall'Isola di Capraia (Arcipelago Toscano).

Specie studiate

Appartenenti all'ordine dei Caradriformi, i Gabbiani costituiscono la sottofamiglia Larini della famiglia Laridi. Si tratta di uccelli robusti, generalmente di colore bianco, grigio e nero, dai piedi palmati, dalle ali lunghe ed appuntite, dal becco forte e ricurvo e dalla coda di solito squadrata. L'abito è simile in entrambi i sessi e le coppie nidificano in colonie, ciascuna con covate di 2-3 uova. Gli immaturi sono di solito brunastri e quelli appartenenti alle specie più grosse impiegano parecchi anni per assumere l'abito dell'adulto. Il loro volo è calmo e potente ed alcune specie spesso volteggiano in aria. Le loro abitudini alimentari sono estremamente varie: oltre a nutrirsi di pesci (per catturare i quali raramente si tuffano dall'aria, preferendo posarsi sull'acqua), predano le uova di altri uccelli, catturano molluschi e insetti, inseguono le navi per raccogliergli i materiali organici di scarto e possono riunirsi a migliaia presso i cumuli di rifiuti delle discariche (Harrison & Greensmith, 1993).

Il Gabbiano reale, *Larus argentatus* Pontoppidan 1763 (Fig. 2), è una specie abbondante lungo le coste, specialmente nei porti e presso i depositi di rifiuti, potendo però diventare comune anche



Fig. 2 - Gabbiano reale (*Larus argentatus*).

nell'entroterra non soltanto in prossimità di fiumi e laghi, ma anche in ambienti antropizzati quali città e discariche. Nidifica in colonie su scogliere, spiagge e isole. La sua dieta comprende organismi sia morti che vivi: pesci, molluschi (dei quali rompe il guscio facendoli cadere su una superficie dura), vermi, insetti, uccelli e mammiferi di piccole dimensioni, sostanze vegetali e uova. A volte si tuffa nell'acqua bassa, ma in genere vola alto volteggiando come uno Sparviero ed emettendo un canto forte e chiaro, simile al suono di un corno da caccia.

La maggior parte delle colonie italiane di Gabbiano reale, nelle quali la nidificazione avviene tra la fine di aprile ed i primi di giugno, si trova lungo le coste della Sardegna, nell'Arcipelago Toscano, nelle isole che circondano la Sicilia ed in alcune lagune e valli dell'alto Adriatico (Brichetti & Fracasso, 2006).

Il Gabbiano corso, *Larus audouinii* Payraud 1826 (Fig. 3), endemico del bacino del Mediterraneo, è uno degli uccelli più rari al mondo. Si distingue dagli altri Gabbiani per il caratteristico disegno del becco (con una parte prossimale rossastra e una distale gialla separate da una fascia nera obliqua) ed il poco contorno che vi è fra le punte nere e le copritrici superiori grigie delle ali. Gli immaturi hanno la sommità del capo ed il collo grigiastri e le parti superiori marroncine, mentre nel becco la parte prossimale è gialla come la distale. Di abitudini meno costiere di quasi tutte le altre specie di Gabbiano, si lega alla terraferma solo nel periodo della nidificazione, formando piccole colonie su isole di limitata estensione e ricche di scogliere (le colonie più numerose, infatti, si trovano a Capraia e a Piano-



Fig. 3 - Gabbiano còrso (*Larus audouinii*).

sa). Il suo canto è aspro e flebile e la sua esistenza viene trascorsa in volo sul mare aperto a caccia quasi esclusivamente di pesce azzurro e crostacei. Il Gabbiano còrso, pertanto, seguire i pescherecci in attesa del pesce da essi scartato, ma non è solito frequentare discariche.

La specializzazione del Gabbiano còrso all'ambiente di alto mare e la sua capacità di sfruttarne al meglio le risorse costituisce il principale problema per la sua sopravvivenza. Il Mediterraneo, infatti, è un mare relativamente povero di pesce, per cui i Gabbiani, alla naturale competizione con altre specie di uccelli marini, devono aggiungere quella con l'uomo. D'altra parte l'inquinamento ambientale ha ulteriormente contribuito a diminuire la presenza di pesce in queste acque.

Il campionamento

I campioni di uova sono stati raccolti sotto licenza nel corso di un censimento effettuato tra il 2004 e il 2005. In particolare, 20 uova di Gabbiano reale sono state raccolte nell'Isola di Giannutri, mentre 25 uova di Gabbiano còrso sono state raccolte nell'Isola di Pianosa (Fig. 4) e nelle Isole di San Pietro, Mal di Ventre e Asinara. La procedura di laboratorio utilizzata per la determinazione delle sostanze organoclorurate ha seguito la metodica di estrazione descritta da Kannan *et al.* (1998) e Corsolini *et al.* (2007).

L'analisi tossicologico-ambientale

L'analisi ha rilevato la presenza di esaclorobenzene (HCB), di *pp'*-DDE e di 43 congeneri di polichlorobifenili (PCB) nei campioni appartenenti alle due specie di Gabbiano. I risultati relativi alla concentrazione media di tali composti organici sono riportati in Tabella 1.

La concentrazione di Σ PCB nelle uova di Gabbiano còrso risultava sette volte più elevata rispetto a quella di Gabbiano reale (7047.3 ng/g p.s. e 927.3 ng/g p.s. rispettivamente). Anche le concentrazioni di HCB e *pp'*-DDE risultavano più elevate nei campioni di Gabbiano còrso rispetto a quelle relative ai campioni di Gabbiano reale. Tale diffe-



Fig. 4 - Isola di Pianosa (www.islepark.it).

n	Gabbiano reale		Gabbiano còrso	
	20		25	
Σ PCB	927.3 ± 395.2	(214.5-2054.4)	7047.3 ± 9300.9	(1575.1-49402.2)
HCB	28 ± 16.5	(2.4-67.1)	41.8 ± 53.8	(1.2-279.2)
<i>pp'</i> -DDE	1306.2 ± 561.7	(168-2380.7)	18463.1 ± 16636.8	(7246.2-60366.6)

Tab. 1 - Concentrazione media di PCB totali, *pp'*-DDE e HCB (ng/g p.s.) nelle due specie di Gabbiano (media ± D.S.; valori minimo e massimo tra parentesi).

renza probabilmente è dovuta alla dieta e all'habitat delle due specie. Infatti, i trasferimenti di contaminanti attraverso i livelli delle reti trofiche ne aumentano la concentrazione nei livelli trofici apicali (predatori) a causa dei fenomeni di biomagnificazione. Inoltre, il sistema di detossificazione enzimatica nelle specie che si nutrono di pesci risulta essere meno efficiente (Fossi *et al.*, 1995).

L'andamento delle concentrazioni risultava *pp'*-DDE > Σ PCB > HCB per entrambe le specie (Fig. 5). In particolare, il *pp'*-DDE rappresentava il 72% del residuo nel Gabbiano còrso e il 58% nel Gabbiano reale. HCB e PCB rappresentavano lo 0.2% e il 27% rispettivamente nel Gabbiano còrso e l'1.3% e il 41% nel Gabbiano reale. Ciò potrebbe essere dovuto sia a ragioni metaboliche specifiche, sia alla diminuzione dei PCB nell'ambiente (in seguito al loro bando); inoltre il DDT è usato in quei Paesi dove la malaria è tuttora una piaga, giustificando così l'elevata presenza del suo metabolita, il DDE.

Nelle uova di Gabbiano còrso provenienti dalla costa occidentale della Sardegna (anno 2004) sono state rilevate concentrazioni di POP più elevate rispetto a quelle provenienti dall'Isola di Pianosa dell'Arcipelago Toscano (Tabella 2).

Tale andamento è probabilmente da attribuire a differenze nelle aree di foraggiamento delle colonie presenti nelle due isole. Infatti, le isole dell'Arcipelago Toscano sono relativamente più remote

rispetto alla costa di quelle sarde, per cui potrebbero risentire in misura minore dell'impatto antropico. Inoltre, l'apporto di PCB e soprattutto DDT dai Paesi africani (dove queste sostanze sono periodicamente ancora utilizzate) potrebbe essere più importante in Sardegna, anche per motivi geografici e meteorologici. I livelli di Σ PCB, HCB e *p,p'*-DDE relativi alle uova di Gabbiano còrso raccolte nelle tre Isole della Sardegna sono riportate in Figura 6. I livelli di contaminanti sono risultati più elevati nell'Isola di Asinara rispetto all'Isola di San Pietro e all'Isola di Mal di Ventre. Le concentrazioni di Σ PCB e HCB nell'Isola di Asinara erano 3 volte più elevate rispetto a quelle relative all'Isola di San Pietro e 2 volte più elevate rispetto a quelle dell'Isola di Mal di Ventre.

Non è da trascurare una fonte locale di contaminazione, in quanto tutte queste isole sono vicine a centri industriali. L'Isola di Asinara delimita a ovest il Golfo di Porto Torres, dove esiste una vasta zona industriale di tipo chimico e petrolchimico (ENI, SASOL Italy) e depositi di gas liquefatti. L'Isola di Mal di Ventre si trova davanti a Oristano, dove hanno sede un deposito di gas liquefatti, una raffineria e un impianto di trattamento di rifiuti urbani misti, speciali e pericolosi di origine sanitaria, artigianale e industriale (SIPSA Ecologica). L'Isola di San Pietro si trova davanti al polo industriale di Portoscuso, sede di numerose industrie chimiche, petrolchimiche e metallurgiche (ENEL, ALCOA)

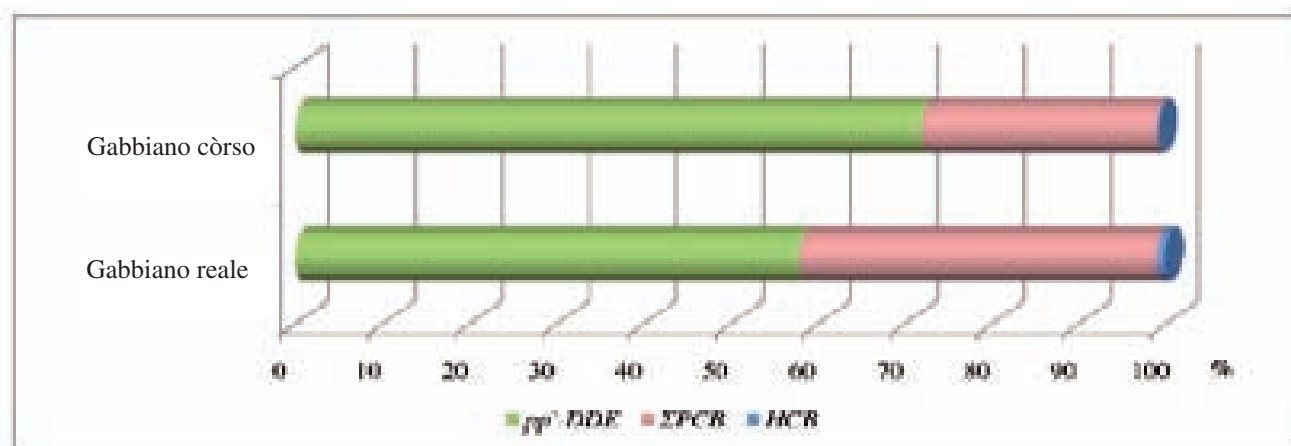


Fig. 5 - Composizione percentuale di *pp'*-DDE, PCB totali e HCB nelle due specie.

	Isole della Sardegna		Arcipelago Toscano	
n	12		13	
ΣPCB	9475,6 ± 13078,6	(1575,1-49402,2)	4805,7 ± 2209,1	(1726,6-9465,5)
HCB	63,7 ± 72,5	(30,8-379,3)	31,6 ± 7,6	(12,0-34,9)
p,p'-DDE	26930,2 ± 17791,5	(2295,8-60566,6)	10651,2 ± 11207,5	(2246,2-45918,0)

Tab. 2 - Concentrazioni di PCB totali, HCB e p,p'-DDE (ng/g p.s.) nelle uova di Gabbiano còrso della Sardegna e dell'Arcipelago Toscano (media ± D.S.; valori minimo e massimo tra parentesi).

(www.assindor.it; Ministero dell'Ambiente, 2007). Tutte queste isole sono quindi molto vicine ad importanti centri industriali e potrebbero ricevere i contaminanti attraverso il trasporto atmosferico o marino. Inoltre, la pianura della Sardegna Meridionale (Campidano) e la zona del Sarcidano erano in passato zone malariche, dove l'uso di DDT è stato abbondante.

Confronto con i risultati di una ricerca analoga condotta nel 1981-1986

Con l'obiettivo di valutare un possibile cambiamento temporale nei livelli di composti organoclorurati degli ultimi 20 anni, i risultati ottenuti nell'ambito di questo studio sono stati confrontati con quelli derivanti da uno studio simile condotto negli anni 1981-1986 su uova delle stesse specie di Gabbiano provenienti dall'Isola di Capraia nel Mar Tirreno (Leonzio *et al.*, 1989). In generale i livelli di composti organici persistenti risultavano più elevati nello studio degli anni 1981-1986 con l'eccezione delle concentra-

zioni di HCB nelle uova di Gabbiano còrso che sono risultate simili in entrambi gli studi. La diminuzione della concentrazione di composti organoclorurati persistenti nelle uova è probabilmente dovuta alle restrizioni sull'utilizzo di tali sostanze. Infatti PCB, DDT e HCB sono stati banditi in Europa ed in altri Paesi a partire dagli anni '70.

Tuttavia negli anni '80 l'andamento delle concentrazioni era PCB > p,p'-DDE > HCB, mentre oggi risulta essere p,p'-DDE > PCB > HCB. Questo cambiamento nell'abbondanza relativa dei contaminanti suggerisce che il DDT sia ancora usato in Paesi in via di sviluppo e che il suo metabolita e prodotto di degradazione, il p,p'-DDE, tramite il trasporto globale, raggiunga il bacino del Mediterraneo penetrando nelle reti trofiche.

Nel 1962 Rachel Carson nel suo libro *Silent Spring* (Primavera silenziosa) riportava: "L'uomo, a mano a mano che procede verso i suoi conclamati obiettivi di conquista della natura, lascia dietro di sé una spaventosa scia di distruzioni dirette non soltanto verso la Terra, ma

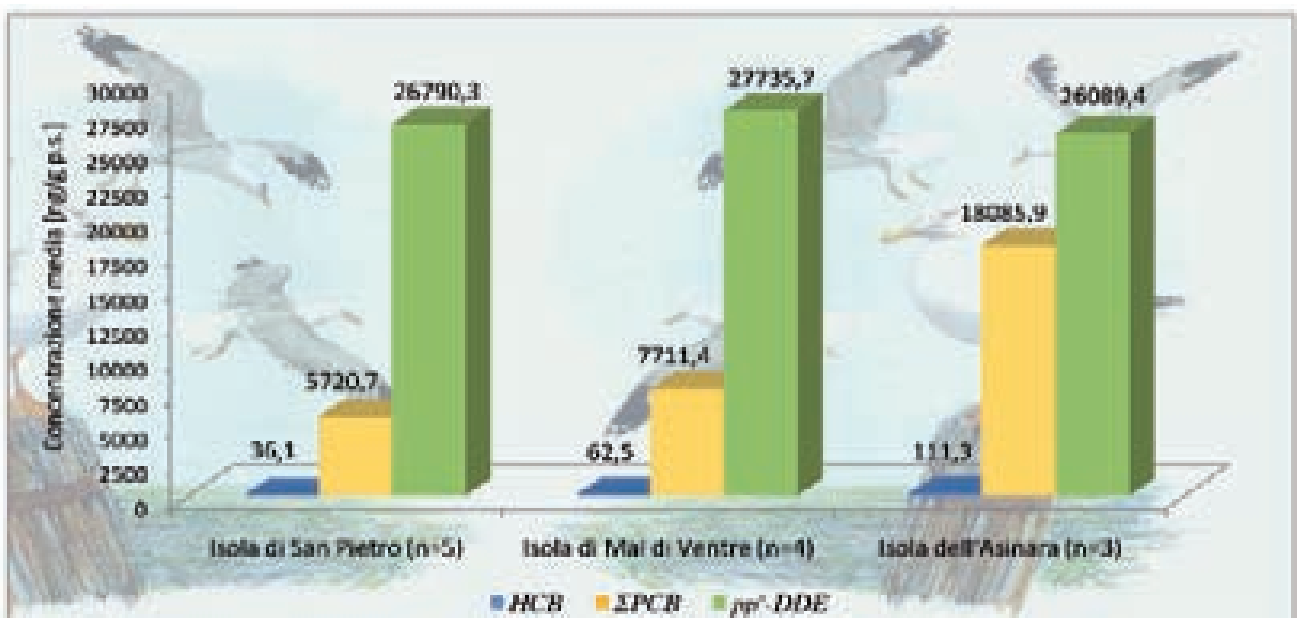


Fig. 6 - Concentrazioni medie di HCB, PCB totali e p,p'-DDE (ng/g p.s.) nelle uova di Gabbiano còrso della Sardegna (Isola di San Pietro, Isola di Mal di Ventre e Isola dell'Asinara).

anche verso gli esseri viventi che vi abitano assieme a lui". La Carson dimostrò che l'uso eccessivo di pesticidi era in contraddizione con il loro valore fondamentale: "L'uomo ha perduto la capacità di prevedere e prevenire. Andrà a finire che distruggerà la Terra (Albert Schweitzer)". Nel maggio del 2001 è stata firmata da più di 90 nazioni la Convenzione di Stoccolma, con la quale sono stati messi al bando 12 inquinanti organici persistenti, tra i quali DDT, PCB, HCB (www.pops.int). Sarebbe perciò utile effettuare ulteriori verifiche nei cambiamenti nei livelli e nell'andamento di questi composti per evidenziare le eventuali diminuzioni delle concentrazioni dovute alla messa in atto della Convenzione stessa.

Testi citati

Albanis T.A., Goutner V., Kostantinou I.K. & Frigis K. (2003) – *Organochlorine contaminants in eggs of the yellow-legged gull (Larus cachinnans michahellis) in the North Eastern Mediterranean: is this gull a suitable biomonitor for the region?* Environmental Pollution, 126: 245-255.

Brichetti P. & Fracasso G. (2006) – *Ornitologia italiana. Vol. 3 – Stercorariidae-Caprimulgidae*. Alberto Perdisa Editore, Bologna, 438 pp.

Carson R. (1962) – *Silent Spring*. Houghton Mifflin, 378 pp.

Corsolini S., Sarà G., Borghesi N. & Focardi S. (2007) – *HCB, p,p'-DDE and PCB Ontogenetic Transfer and Magnification in Bluefin Tuna (Thunnus thynnus) from the Mediterranean Sea*. Environmental Science and Technology, 41(12): 4227-4233.

De Liguoro M., Amorena M., Donato A., Naso B. & Lucisano A. (2002) – *Levels of p,p'-DDE in liver of predatory birds from Calabria, Italy*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 68: 377-382.

Fossi M.C. (2000) – *Biomarkers: strumenti di diagnosi e prognosi ambientale*. Rosini editrice, 127 pp.

Fossi M.C., Massi A., Lari L., Marsili L., Focardi S., Leonzio C. & Renzoni A. (1995) – *Interspecies differences in mixed function oxidase activity in birds: Relationship between feeding habits, detoxication activities and organochlorine accumulation*. Environmental Pollution, 90 (1): 15-24.

Gouin T., Mackay D., Jones K.C., Harner T. &

Meijer S.N. (2004) – *Evidence for the "grasshopper" effect and fractionation during long range atmospheric transport of organic contaminants*. Environmental Pollution, 128 (1-2): 139-148.

Harrison C. & Greensmith A. (1993) – *Birds of the World*. Dorling Kindersley Limited, London.

Kannan K., Imagawa T., Blankenship A.L. & Giesy J. (1998) – *Isomeric-specific analysis and toxic evaluation of polychlorinated naphthalenes in soil, sediment, and biota collected near the site of a former chlor-alkali plant*. Environmental Science and Technology, 32: 2507-2515.

Leonzio C., Lambertini M., Massi A., Focardi S. & Fossi C. (1989) – *An assessment of pollutants in eggs of Audouin's gull (Larus audouinii), a rare species of the Mediterranean sea*. The Science of the Total Environment, 78: 13-22.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2007) – *Inventario Nazionale degli stabilimenti suscettibili di causare incidenti rilevanti ai sensi dell'Art.15, comma 4 del Decreto Legislativo 17 Agosto 1999, N°334*.

Naso B., Perrone D., Ferrante M.C., Zaccaroni A. & Lucisano A. (2003) – *Persistent organochlorine pollutants in liver of birds of different trophic levels from coastal areas of Campania, Italy*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 45: 407-414.

Pavan, Barroffio C., Passini V., Bilei T., Pira E. & Minoia C. (2003) – *Policlorobifenili: valori di riferimento*. Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia, 25 (1): 61-67.

Tallandini L., Duzzin B. & Turchetto M. (1986) – *I difenili policlorurati (PCB). Un miracolo della chimica. Un problema ambientale da risolvere*. Ambiente Risorse Salute, 49: 10-11.

Wania F. & Mackay D. (1996) – *Tracking the distribution of persistent organic pollutants*. Environmental Science and Technology, 30 (9): 390-396.

Weber K. & Goerke H. (2003) – *Persistent organic pollutants (POPs) in antarctic fish: levels, patterns, changes*. Chemosphere, 53: 667-678.

Siti internet

www.pops.int

www.assindor.it

www.islepark.it

Simboli di aree rurali dimenticate: i casali metropolitani

Carmelo Cannarella, Valeria Piccioni

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Metodologie Chimiche, Gruppo di Studio sullo Sviluppo ed i Processi Innovativi, via Salaria km 29,300, 00015 Monterotondo – Roma.

carmelo.cannarella@imc.cnr.it, valeria.piccioni@imc.cnr.it

Il contatto spesso piuttosto traumatico fra l'ambiente urbano e quello rurale è testimoniato da una grande quantità di segnali e sintomi: fra questi si collocano i "casali metropolitani", davanti ai quali frequentemente transitiamo con indifferenza, che oggi appaiono privi di un ruolo all'interno del nuovo contesto in cui sono stati inseriti. Per questo, essi diventano una testimonianza drammatica della sconfitta della ruralità di fronte all'aggressione dell'urbanità. La creazione di un piccolo archivio fotografico di edifici rurali situati nelle periferie e nei dintorni della città di Viterbo ha costituito lo spunto per una riflessione su queste espressioni di una cultura oggi negletta ed a rischio di estinzione, ma che rappresenta un preziosissimo bacino di risorse materiali ed immateriali cui attingere non solo per contribuire a rendere più vivibili e più esteticamente accettabili le nostre città, ma anche per costruire nuove traiettorie per i processi di trasferimento tecnologico e movimentazione di conoscenze.

Introduzione

Nel corso del 2005 abbiamo avuto modo di occuparci, tra l'altro, delle problematiche di sviluppo di alcune aree peculiari, ovvero quelle zone di campagna immediatamente a ridosso delle periferie urbane. Con l'ausilio di un fotografo, abbiamo quindi cominciato ad esplorare queste zone, specificatamente nei dintorni della città di Viterbo, riportando immagini, appunti, osservazioni. Fra le numerose espressioni materiali di queste particolari zone di contatto, la nostra attenzione è stata da subito attirata da alcuni edifici rurali che sono apparsi come manifestazioni visive piuttosto palesi dell'incontro, frequentemente molto traumatico, fra l'ambiente urbano e quello (che un tempo era) rurale. Da questo interesse, che ha preso una piega oltretutto completamente indipendente dalle osservazioni in corso, è scaturita una sorta di archivio di immagini di questi fabbricati che abbiamo voluto denominare "Casali Metropolitani". Effettivamente, osservando le immagini contenute in questo repertorio, ci siamo accorti che alla fine non ci trovavamo di fronte solo ad un archivio documentario "muto" magari da trasmettere ai posteri. Le condizioni di questi "casali metropolitani", davanti ai quali spesso molte persone transitano con indifferenza, possono per esempio testimoniare la dram-

matica sconfitta della ruralità di fronte all'aggressione dell'urbanità: ad una prima osservazione sembra infatti che la sconfitta dell'ambiente rurale nei confronti dell'espansione di quello urbano sia un fatto inevitabile. Ma è proprio così? Città e campagna non possono convivere? La campagna deve sempre soccombere di fronte all'avanzare delle periferie? Non è proprio possibile immaginare, anche in considerazione del capovolgimento dei flussi residenziali di questi ultimi anni, forme di *ruralità urbana*? Non è proprio pensabile innestare la ruralità con i suoi valori non solo nelle periferie, ma anche nei centri delle nostre città? Questo ambiente rurale, innestato *in vivo* in quello urbano, quanto potrebbe contribuire a rendere più vivibili e più esteticamente accettabili le nostre città?

Sono queste le domande che di fatto ci hanno spinto a dedicare un'attenzione a sé stante a questa problematica, anche nel tentativo di fornire un modesto contributo ad un più generale dibattito e sforzo operativo per una revisione ed una ricostruzione dell'identità del territorio e per un ripensamento della filosofia che ispira la politica della sua gestione effettiva, non solo come elemento fisico, spaziale e paesaggistico, ma anche e soprattutto come "denominatore" ambientale e culturale.

È forse opportuno ricordare che gli autori di questo lavoro si occupano principalmente di sviluppo,

innovazione e circolazione delle conoscenze. Queste tematiche, in ogni caso, sono strettamente connesse non solo a meri fattori tecnici, tecnologici o produttivi, ma anche al principio operativo secondo il quale ogni comunità locale dovrebbe avere il buon senso di studiare sé stessa come una delle precondizioni critiche per avviare efficienti ed effettivi processi innovativi, di sviluppo e di cambiamento su basi culturali robuste. Le possibilità ed opportunità di disporre, costruire od eventualmente ricostruire questo “buon senso” si legano a tantissimi elementi che possono essere rappresentati anche dalle capacità (più o meno residue) del territorio di trasmettere, in forma “solida”, espressioni, gradazioni ed informazioni sulla quantità e qualità dei flussi delle interazioni sociali, storiche ed attuali, che si agitano al suo interno e dalle capacità delle comunità e degli individui che vivono ed operano nel territorio di percepire e riconoscere questi segnali che provengono dal territorio stesso.

L’immagine e la qualità del paesaggio (in quanto manifestazione estetica più emergente del bene collettivo visivo del territorio) possono apparire quindi come una sorta di “testo”, più o meno deteriorato, che deve però essere in qualche modo decifrato. Esso comprende, fra l’altro, reti relazionali, micro-espressioni della vita quotidiana, manifestazioni di rapporti di potere, ecc...: in questo modo, il paesaggio, le sue contraddizioni, il suo degrado ed i suoi contrasti (od al contrario la sua armonia e la sua valorizzazione), diventano allora non soltanto espressioni meramente visive ma testimoni dell’*etica*, oltre che dell’estetica, che governa ed ispira la vita di quel territorio. Il paesaggio agisce come uno strumento comunicativo, talora crudele, della sfera pubblica nel suo complesso perché ne mette in piazza i valori, manifesta il grado ed il tipo di considerazione che la politica ha di quel territorio, nell’ambito della sua competenza. La qualità territoriale e paesaggistica può agire quindi come un indicatore di “capacità istituzionale”, una qualità che, per sua natura, non è mai fine a sé stessa, ma detiene rilevanti implicazioni anche per i processi innovativi e di sviluppo: questa (in)capacità istituzionale che si riversa sull’ambiente e sul paesaggio, si scarica e si riverbera notevolmente sullo svolgimento e sulla qualità delle reti relazionali degli individui e delle comunità che vivono ed operano in quel territorio con ripercussioni importanti sulla qualità intellettuale, sociale e politica del cosiddetto “capitale umano” locale. In questo modo l’immagine del territorio e del paesaggio finisce con il denunciare, ad

un livello superficiale, le “tare” di una cultura della gestione del territorio stesso ed, ad un livello più profondo, le “deficienze” di certe visioni di una presunta modernizzazione, con i suoi compromessi ed i suoi accomodamenti, che si riversano pesantemente sulla politica urbanistica, quella edilizia, quella dei trasporti e della viabilità e sui delicati rapporti fra pubblico e privati. L’effetto più perverso di queste tare e deficienze è costituito pertanto dalla constatazione che, proprio come risultato di queste visioni e concezioni, la sconfitta dell’ambiente rurale di fronte all’espansione di quello urbano finisce con l’essere percepita e vissuta come fatto *ineluttabile*: le immagini di questi “casali metropolitani” allora testimoniano questa condizione lacerante anche come conseguenza di una altrettanto ineluttabile accettazione di certe forme di modernità nei confronti del *non cementificato*.

Questa sensazione di *ineluttabilità* merita un’attenzione particolare: l’accettazione passiva di tutti gli effetti collaterali (di qualsiasi natura essi siano) dell’attuale condiviso modello di sviluppo e il desiderio di allontanare il più possibile da noi (sia in senso temporale che spaziale) le conseguenze di questo stesso modello di sviluppo, costituiscono una delle cause principali delle difficoltà che si riscontrano nel tentativo di delineare e implementare una revisione delle politiche, degli approcci e delle strategie per tante aree rurali del nostro Paese (in particolare quelle contigue alle periferie urbane) sulla base di sinergie finalmente positive fra città e campagna. Per fare questo servono nuove competenze sia scientifiche, tecnico-professionali che amministrative per la corretta armonizzazione dei fattori ambientali, economici e sociali. Le mere valutazioni di tipo naturalistico non sono sufficienti, in quanto occorrono argomentazioni robuste per mettere in discussione questo senso di ineluttabilità e soluzioni efficaci ed efficienti per contrastare l’apatia e la miopia che ostacolano l’identificazione e l’applicazione di alternative nella gestione del paesaggio e del territorio nel loro complesso.

Ostacoli metropolitani

La prima impressione che emerge dall’osservazione delle immagini di questo archivio è che lo sviluppo del tessuto urbano avviene senza tener conto del *pre-esistente*. Esso diviene alla fine semplicemente un ostacolo che, se non può essere

travolto, può essere assediato e soffocato in modo tale da evidenziarne il più possibile i suoi caratteri di “ostacolo” all’espansione urbana (Fig. 1).

Questi casali che, per la loro conformazione e natura hanno rappresentato per lungo tempo una componente attiva e sostanziale del paesaggio, dell’economia, della cultura e della società rurale, diventano, all’interno del contesto ex rurale ed ora urbanizzato, degli “intrusi” che disturbano e che stridono con gli edifici moderni. Bisogna poi aggiungere che l’edilizia contadina non è pur-

troppo il solo ostacolo che l’espansione urbana tenta di travalicare: alla stessa stregua di impedimento e di “inconveniente” di percorso vengono assimilati, subendo quindi la stessa sorte di “esclusione”, ad esempio i muri a secco, i portali, i fontanili, oppure gli uliveti e gli alberi e le siepi che delimitavano i confini e fiancheggiavano le strade rurali. Lo sviluppo delle periferie non si adatta mai alla presenza di querce secolari, olivi, lecci ecc... che rappresentano l’espressione più diretta e “naturale” del nostro paesaggio (cosa che i nostri antenati sapevano benissimo): nello spazio di una notte questi monumenti vegetali spariscono misteriosamente per essere semmai sostituiti in qualche caso da costosi e gracili alberelli ornamentali.

La città avanza sullo spazio rurale non solo per mezzo delle periferie, ma anche con la creazione di aree industriali, artigianali, mega-centri commerciali, infrastrutture e reti viarie, ecc... Qualche riflessione particolare dovrebbe poi essere destinata alle cosiddette “villettepoli” che rappresentano anch’esse un’espressione non secondaria della sorte di un territorio e del paesaggio. Non si tratta in questa sede di polemizzare sull’utilità o meno di questa forma residenziale, quanto sulla capacità di una società di governare nel modo migliore questo fenomeno ampiamente conosciuto e diffuso nel Nord America ed in molti Paesi europei. Le villettepoli sollevano numerose domande da parte dell’osservatore: quale *forma* è stata attribuita a questo fenomeno? Le villettepoli nostrane sono state sottoposte ad una razionalizzazione oppure hanno rappresentato una diffusione e dilatazione del tessuto urbano senza limiti con uno “sbriciolamento” sul territorio delle realtà abitative? Queste nostre vil-



Fig. 1 - Un esempio di come un “casale metropolitano” possa agire da ostacolo all’espansione urbana (Foto Michele Furci).

lettepoli attribuiscono un senso al paesaggio o lo trasformano in un non-luogo? Costituiscono una parte della città o un suo surrogato? Il problema sollevato dalle villettepoli (abusive/non abusive/condonate) è rappresentato fundamentalmente dal fatto di essere costruite in modo casuale con costi di urbanizzazione elevatissimi e, a causa del loro “spalmamento” sul territorio, con pesanti ripercussioni sul paesaggio e sulle sue risorse ambientali.

I casali metropolitani sono quindi degli ostacoli che intralciano il dispiegarsi, sotto molteplici forme, della città colonizzatrice della campagna, in particolare di quella “zona grigia” di campagna che per sua sfortuna finisce con il trovarsi a ridosso della città. Viene da chiedersi come gli architetti gestiscano il problema di queste presenze scomode, qualora ovviamente si pongano il problema. Nei grandi progetti grafici, nei *rendering* o nei modellini in scala ridotta che illustrano come si presenterà una determinata zona residenziale, anche se sono presenti in quell’area questi edifici rurali, essi non vengono mai rappresentati: come a dire che nella visione ideale dell’architetto queste costruzioni non ci dovrebbero e non ci devono essere.

Nella pratica, il tessuto urbano tenta in tutti i modi di respingerli sempre più al margine perché sono dei *rottami* sia architettonici sia culturali. Questa è infatti la duplice connotazione di questa problematica: non ci troviamo di fronte solamente a delle espressioni edilizie ma a dei “testi tridimensionali” di una cultura ben definita. Per questo motivo, al di là delle considerazioni di natura architettonica e storica, è importante riflettere su queste manifestazioni del rurale circa quello che essi *possono rappresentare per i contemporanei*.

Osservandoli nelle loro condizioni attuali, questi edifici, per molti aspetti, sembrano testimoniare dei rapporti contrastati con la ruralità sotto molteplici punti di vista: fino a tempi piuttosto recenti anche in molte espressioni della nostra letteratura la campagna è stata descritta come sinonimo di arretratezza, miseria, povertà, ignoranza, ottusità, dabbenaggine, sporcizia, promiscuità, stupidità, ecc.. valori contrapposti alla razionalità, igiene, modernità, progresso, comodità della città. I casali metropolitani di tufo e peperino, che emergono fra i rovi davanti agli edifici “moderni” con le finestre dagli infissi in alluminio, sembrano ricordare un “brutto passato” contadino di cui in fondo ci vergogniamo (“ma come si faceva a vivere così?”). In questi ultimi anni, con l’acuirsi dell’insostenibilità della vita urbana, l’alienazione, la velocità estenuata ed estenuante dei ritardi, il rumore, il vivere stipati razionalmente dentro abitazioni-contenitore o nelle code delle automobili imbottigliate nel traffico, i materiali freddi della città (alluminio, plastica, cemento, ecc...), le allergie e le psicopatologie di ogni genere, ecc... si comincia a riscoprire l’altra faccia della medaglia di questo scontro città-campagna: i differenti rapporti umani e rapporti con la terra (selvatica e coltivata), il senso del tempo e delle stagioni, la lentezza del fluire del tempo cronologico, la semplicità, il silenzio ed i suoni della campagna (vento, frusciare degli alberi, uccelli, animali domestici e selvatici, ecc...), la famiglia ed il focolare, i materiali “caldi” della ruralità (legno, terracotta, tufo e peperino, ecc...). Se un tempo si poteva guardare a questi “rottami edilizi e culturali” con un senso di compiacimento per quello che è stato guadagnato in comfort rispetto alle generazioni passate, oggi ci si comincia a domandare: quanto ci è costato tutto questo? Cosa è andato effettivamente perduto?

La voce nascosta

Le possibilità di comprendere la consistenza e la qualità di questa perdita si lega in primo luogo alla capacità di percepire la flebile “voce” di queste componenti del territorio sottoposte alla pressione di veri e propri “atti di esclusione” ed il tentativo di annullare questi pezzi della cultura rurale locale quantomeno tramite l’oblio e l’indifferenza. Si tratta, in sostanza, di quello stesso processo di narcosi che anestetizza la cultura collettiva nazionale di fronte al nostro patrimonio storico-architettonico

definito “di pregio” o “maggiore”. Se quindi soffrono di disistima da parte dei nostri concittadini, per esempio, le grandi aree archeologiche, molto più note all’estero ed apprezzate dai visitatori stranieri (senza dimenticare i grandi bacini archeologici nazionali disdegnati dai principali flussi del turismo), figuriamoci quale interesse possano sollevare le manifestazioni architettoniche e culturali “minori”, come appunto la cultura contadina più o meno recente o l’architettura rurale.

Assistiamo impotenti agli effetti perversi di una vera “sindrome del rudere” che causa l’incapacità diffusa non solo di decodificare quello che queste espressioni dell’*archai* e della *technai* dei nostri antenati riescono ancora a trasmettere, ma che impedisce addirittura a questi “luoghi della memoria” di rinascere in quanto tali. L’oblio diventa pertanto il nemico più spietato di questi siti (così come di tutto il nostro patrimonio culturale in tutte le sue manifestazioni) fino a rendere questi edifici invisibili anche quando ce li troviamo sempre davanti. Per questo motivo, esporre e parlare di luoghi deliberatamente “non detti” e, per mezzo di essi, di ben precisi valori e bisogni, significa mettere in discussione la stessa cultura dell’oblio che intende sopprimerli sia da un punto di vista architettonico (a giustificazione anche di “errori” di natura urbanistica e della retorica persuasiva della “palazzina”), ma anche e primariamente in quanto espressione di contraddizioni latenti e meno latenti della nostra contemporaneità. Ancora una volta, non si tratta tanto (e comunque non solo), di discorrere di logiche tecniche, ma anche di questioni estetiche, etiche, di valore che non possono essere assoggettate a valutazioni per l’appunto meramente tecniche od economiche.

Per questa ragione, questo piccolo archivio di immagini si inserisce nel più generale tentativo di ragionare sul senso delle manifestazioni del nostro tempo, qualunque esse siano, per la ricerca di significati alternativi che possano emergere ad esempio dalla lettura di questo tipo peculiare di paesaggio. Proprio da questo confronto consapevole e responsabile è possibile contribuire a modificare il rapporto fra gli interlocutori di questo rapporto “comunicativo” in cui i residenti possono assumere un ruolo meno passivo e più cosciente. Superare l’apatia diffusa e permeante tutti gli aspetti del nostro vivere sociale ed individuale implica uno sforzo considerevole ed un impegno paziente e continuo diretto a stimolare ed incoraggiare i cittadini anche alla lettura critica del pae-

saggio che li circonda: tutte le competenze migliori di cui questa società ancora dispone devono essere coinvolte in questo progetto in vista della creazione di una comunità composta da capacità interpretative diversificate, educata alla pubblica discussione su questi temi.



Il senso dello spazio

Questi edifici costituiscono, anche se in forma di ruderi od in stato di totale abbandono, una parte vitale del retaggio culturale della nostra terra. Come già detto, essi rispecchiano non solo una testimonianza di una passata cultura prettamente agricola, ma costituiscono fattori essenziali utili alla comprensione del cambiamento sociale ed economico contemporaneo. In questa discussione non è tanto rilevante ragionare sulle loro qualità storiche, architettoniche e funzionali quanto semmai utilizzare le immagini come strumento per una *visione riflessiva* sui connotati attuali (e trascorsi), su linee fluide di confine città/campagna, su un'erosione etica ed estetica del territorio, (appropriate/inappropriate, sagge/meno sagge) modalità di gestione di aree urbane ed agricole, sulla sorte delle risorse ambientali presenti in loco, ecc... Insomma stiamo parlando della visione del senso dello spazio.

Le immagini riportate in questo lavoro documentano certamente uno *stato di crisi* di queste aree, la lotta per l'accaparramento di suolo fra differenti forme di utilizzazione e finalizzazione (residenziale, commerciale, infrastrutturale, agricolo, ecc...) e nello stesso tempo lo stato di crisi del senso dello spazio e di quella cultura che dovrebbero alimentare la politica destinata a gestire in modo corretto e sostenibile i rapporti fra spazio urbano e spazio rurale (Fig. 2).

Una carenza o una scorretta cultura ambientale si manifesta quindi anche come incapacità di concepire le aree verdi e funzionalizzare quelle rurali periurbane all'interno di un processo che potrebbe essere definito come "modernizzazione riflessiva" da opporre al concetto di modernizzazione "inconscia". La nostra società ha un urgente bisogno di aprire un dibattito approfondito sulle possibilità concrete di concepire forme ibride di convivenza fra aree urbane ed agricole e le relative espressioni del paesaggio, dell'architettura e delle infrastrutture. Questo repertorio di immagini testimonia pur-

Fig. 2 - La lotta per l'accaparramento del suolo (Foto Michele Furci).

troppo la negazione di questo dibattito, di questa potenzialità e di quelle dinamiche che possono esprimere, all'interno dello stesso spazio, diverse funzionalità, geometrie e significati. Piuttosto che incorporare gli spazi rurali, assistiamo insomma alla continua perdita di questi spazi periurbani e alla generazione di relazioni conflittuali fra paesaggio, urbanizzazione ed infrastrutture (Fig. 3)

Si torna quindi al problema dell'assenza di un concetto responsabile di "paesaggio" sia in senso fisico-naturale che metaforico, di una visione di "natura" che integra e compensa l'urbanizzazione sulla base di un nuovo ruolo da attribuire a questi spazi rurali di contatto. Il problema centrale della questione è molto profondo ed ambiguo perché si esprime in una carenza culturale diffusa la cui ricostruzione appare come preconditione indispensabile ancor prima di mettere le mani nella ricostruzione e recupero dei territorio e del paesaggio stessi: pena ulteriori disastri, devastazioni e distruzione sistematica di risorse ambientali, culturali, economiche e di competenze umane. Una cultura del territorio può contribuire ad immaginare e realizzare addirittura "nuovi paesaggi" non più soggetti passivi della modernizzazione, ma capaci di reagire autonomamente al cambiamento, alle mutazioni ed al rinnovamento al cui interno si realizzino forme di coerenza fra contesto ambientale-ecologico, ed espressioni architettonico-infrastrutturali.

Possiamo quindi sperare che nel futuro il nostro paesaggio possa diventare la sintesi fra biosfera, sociosfera e tecnosfera? Esiste la possibilità di delineare ambiti reali per gettare le basi per forme di "agricoltura urbana" come espressione di sviluppo urbano sostenibile, momento di partnership costruttiva fra ricerca scientifica, imprese di settore, amministrazioni locali, associazioni di cittadini

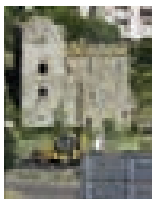


Fig. 3 - Il paesaggio “conflittuale” (Foto Michele Furci).

ed occasione per la creazione di siti di trasferimento e movimentazione di conoscenze con la realizzazione di comunità di apprendimento e di formazione? Fornire delle risposte adeguate a questi quesiti significa in pratica ragionare sul senso che si vuole attribuire allo spazio e sul concetto stesso di *qualità dei luoghi*: da questo deriva una visione critica su come questi luoghi sono, come vorremmo che fossero, come vorremmo che fossero utilizzati i loro attributi e le loro caratteristiche e come vorremmo che si evolvessero.

Il problema della perdita culturale

Una carenza culturale diffusa, una scarsa alfabetizzazione sul senso dello spazio e del paesaggio che ci circonda, la mancanza di “un’idea di territorio” nel suo complesso con la sua erosione ed il suo degrado e l’accettazione passiva della relativa sorte, fungono quindi da termometro e da barometro dei bassi legami di una comunità con il *suo* territorio ed il *suo* paesaggio, della sua scarsa sensibilità e reattività nei confronti della “terra”. Tutto questo poi non si svolge all’interno di un rapporto univoco: il territorio non si limita a subire passivamente le ingiurie che gli vengono inflitte. Il degrado cui sottoponia-

mo la nostra terra ci viene restituito come un *boomerang* non solo sottoforma di degrado delle risorse ambientali naturali, ma anche come degrado della qualità dell’equilibrio psicofisico dell’individuo, dei rapporti sociali e di quelli stessi fra città e cittadini, fra cittadini ed istituzioni, ecc... Il degrado del territorio si accompagna insomma ad un degrado etico. Basta pensare ad esempio al fatto che oramai i cittadini considerano sempre di più “spazio pubblico” solamente e paradossalmente non tanto le piazze quanto i centri commerciali.

L’incapacità di gestire in modo costruttivo i rapporti derivanti dal contatto diretto fra aree rurali e quelle urbane solleva la questione della parallela incapacità di riconoscere e gestire una grande quantità di risorse presenti e non utilizzate in questi spazi. Si tratta certamente di risorse di tipo economico ma anche, e non secondariamente, culturali. Troppo spesso si registrano nel nostro Paese grandi difficoltà nel capitalizzare e mettere a frutto un gran numero di potenzialità territoriali sia sul versante produttivo che culturale ed intellettuale. Molte di queste potenzialità sono presenti anche nelle periferie e nelle aree periurbane proprio dove la città e la campagna si toccano. Un riconoscimento del valore di questi spazi sicuramente costituisce un fattore importante per attribuire al nostro territorio una maggiore competitività che può essere espressa, ancor prima che in termini economici, in termini di vivibilità e di qualità della vita.

Tutto questo diviene però particolarmente arduo di fronte ai continui processi di “perdita culturale” che si esprimono sia attraverso una perdita di risorse esplicite (tradizioni, stili di vita, ambiente naturale, ecc...) che hanno un valore altrettanto esplicito (ad esempio derivante dalla perdita di un paesaggio altrimenti ameno), sia per mezzo di una perdita di valori meno apparenti ma altrettanto forti: legami con la terra, senso di appartenenza, senso dei luoghi e del territorio, la cui valutazione appare parimenti meno esplicita.

Questo è infatti uno degli aspetti più rilevanti che sono emersi dalla costruzione di questo archivio: la perdita e la distruzione di questo retaggio culturale intangibile solitamente avviene nella totale ignoranza sul reale valore di questi siti, di questi fabbricati e delle pratiche e culture che ruotavano intorno ad essi (Fig. 4).

Secondo un approccio economico convenzionale, solamente il valore tangibile e monetizzabile detiene una rilevanza ai fini di una conservazione e valorizzazione: avendo deprivato queste espressioni

ni della cultura contadina di queste componenti, in tal modo si porta il loro valore a zero. Il problema però non è tanto (o perlomeno solo) quello di ricostruire questa valenza economica, quanto semmai quello di attribuire un “peso” altrettanto rilevante al corrispondente valore intangibile. Insomma bisogna sottrarre i concetti di “memoria” e “tradizione” alle logiche della giustificazione economica e para-economica. Su questo versante problematico è indispensabile addivenire ad un vero e proprio *paradigm shift*: la memoria trasmessa, ad esempio, da un casale non è un oggetto cui si può attribuire un prezzo e che può essere comprato e venduto. Per molti aspetti esso pone più problemi rispetto, ad esempio, ad un manufatto della civiltà etrusca. Ciò per il semplice fatto che un edificio rurale abbandonato ed assediato dalle palazzine evoca radici culturali non remote e “fratturate” come nel caso del retaggio etrusco o romano (discontinuità con la classicità), ma ancora “calde” a causa della prossimità temporale e – nonostante le fratture causate dalla modernità – della presenza di una certa ed ancora piuttosto forte linearità fra cultura contadina e cultura urbana. Questi siti sono espressione di fenomeni di accumulazione di caratteristiche (conflittuali) *in corso*. In sostanza non esprimono solo il nostro passato, ma illustrano anche un aspetto del nostro *oggi* ovvero la nostra più o meno capacità di gestire il presente connesso ad una dimensione culturale intangibile legata alla memoria.

Questi casali metropolitani rappresentano l'espressione di una cultura oggi negletta che sta scomparendo anche perché si stanno fisicamente estinguendo quelle comunità e quegli individui che a questa cultura facevano quotidiano riferi-

mento. Per questo motivo è indispensabile attivare dei fenomeni di ri-appropriazione grazie all'individuazione di nuovi valori intangibili contemporaneizzati del retaggio culturale delle comunità che oggi vivono intorno a questi luoghi. Ciò può contribuire anche a salvare questi edifici dalla “sindrome del museo”, in quanto non appare molto praticabile l'idea di metterli sotto vetro. La cultura, in tutte le sue espressioni e manifestazioni, non fa mai una bella figura sotto una campana di vetro o dietro una bacheca. Bisogna invece sostenere la possibilità di ri-attribuire un ruolo ed un significato a questi luoghi della memoria “viventi” affinché possano agire ad esempio come:

- luogo ed occasione di mobilitazione delle conoscenze e delle competenze degli anziani per essere trasmesse alle nuove generazioni sia come espressioni degli stili di vita e pratiche lavorative rurali che come valori della cultura contadina per farla uscire dalla dimensione limitante ed avvilita del folklore e della sagra;
- luogo ed occasione per testimoniare l'impegno delle generazioni presenti nei confronti della ruralità come valore che non deve essere disperso ma tutelato a vantaggio delle generazioni future;
- alternativa costruttiva alla commercializzazione della cultura;
- contributo a contrastare il rischio potenziale di sviluppare un atteggiamento “elitario” nei confronti del retaggio culturale che è invece un patrimonio di tutti, in particolare quando si tratta di queste manifestazioni della cultura popolare;
- stimolo per la ricostruzione di una consapevolezza da parte dei cittadini nei confronti dei valori intangibili del retaggio culturale, della memoria e della tradizione che sono molto più fragili e vulnerabili rispetto ai beni “monetizzabili” perché in un modo o nell'altro dipendono da forme di trasmissione “orale”, emozionale ed evocativa.

Qualche considerazione conclusiva

Trarre delle conclusioni da questo *excursus* non è semplice anche perché la discussione condotta fa certamente riferimento ad un archivio di immagini che per loro natura sono statiche, ma che testimoniano tuttavia le dinamiche di processi in continuo movimento. La situazione è talmente fluida (alcuni degli edifici immortalati sono stati nel frattempo rapidamente demoliti) che, visto il permanere di una condizione di caos ed assenza di pianificazione,

Fig. 4 - La distruzione del retaggio “intangibile” viaggia sulla distruzione del retaggio “tangibile” (Foto Michele Furci).

risulta difficile poter quantificare e prevedere in questo momento implicazioni ed effetti per il futuro. Quello che è però possibile ribadire, è che lo stato complessivo di questo patrimonio architettonico territoriale corrisponde in un certo qual modo ad uno stato complessivo di una determinata condizione culturale più generale; tutto questo non piove dal cielo od accade per caso. Tutti potremmo e dovremmo allora interrogarci sulle ragioni di quelle manifestazioni di assuefazione ed anestetizzazione che circondano la nostra vita quotidiana e che consentono, tra l'altro, il realizzarsi di certe forme di sviluppo ed uso del territorio. Non basta quindi chiedersi quali siano le motivazioni del forte stato di degrado e di abbandono di questo patrimonio, bisogna anche chiedersi quali possano essere le cause di quella indifferenza che circonda, alimenta e giustifica tali processi di degrado e di distruzione sistematica di questo o di altri patrimoni culturali.

Se si deve proprio individuare una conclusione, allora si potrebbe affermare che l'oblio è il pericolo principale che la costruzione e realizzazione di qualsiasi forma di sviluppo territoriale ecologicamente, socialmente ed economicamente sostenibile può incontrare. Questi "Casali Metropolitan" denunciano in particolare apatia ed inerzia come effetti nefasti di una forma di oblio conseguita tramite l'eliminazione delle tracce rimuovendo da determinati elementi del paesaggio e della cultura proprio quelle caratteristiche che le possano rendere identificabili come tracce. In tal modo si determina una distanza psicologica ed affettiva progressiva sempre più grande fra queste componenti del nostro patrimonio culturale, tale da generare il necessario oblio che può consentire la distruzione di questo patrimonio nell'indifferenza e nell'apatia. La cancellazione di queste tracce, siano esse sotto forma di casali metropolitan o di altre manifestazioni della tradizione, si delinea come un processo quotidiano, inconsapevole ed involontario che spesso sfugge alle nostre capacità di controllo.

Gettando uno sguardo su espressioni peculiari dello spazio urbano abbiamo fatto luce su capitoli di un racconto stratificato, fatto non tanto di testimonianze di modalità costruttive ed architettoniche rurali del passato quanto semmai di esempi del lavoro del tempo dentro lo spazio. Con una piccola appendice: oltre ad evidenziare squarci e dettagli della città che mette a confronto, talvolta in modo violento, epoche e tradizioni diverse all'interno dello spazio, con una storia sedimentata delle manifestazioni di determinate culture, come ad esempio

quella contadina, viene fuori anche il tentativo della loro rimozione da quel medesimo spazio.

Non conosciamo ancora l'esito finale di questa vasta dinamica narrativa: forse il domani testimonierà la difesa, il recupero e la riutilizzazione così come, nella malaugurata ipotesi, la perdita definitiva di tutto o parte di questo prezioso patrimonio culturale.

Testi di approfondimento

De Varine H. (2005) – *Le radici del futuro*. CLUEB, Bologna.

Donadieu P. (2004) – *Campagne urbane, una nuova proposta di paesaggio della città*. Donzelli, Roma.

Donadieu P. (2006) – *Landscape Urbanism in Europe: From Brownfields to Sustainable Urban Development*. Journal of Landscape Architecture, volume: 2006 (2): 36-45.

Errington A. (1994) – *The peri-urban fringe: Europe's forgotten rural areas*. Journal of Rural Studies, 10 (4): 367-375.

Frug G.E. (1999) – *City making: building communities without building walls*. Princeton University Press, Princeton (N.J.).

Gilles C. (2005) – *Manifesto del Terzo Paesaggio*. Quodlibet, Macerata.

Madaleno I.M. & Gurovich A. (2004) – *"Urban versus rural" no longer matches reality: an early public agro-residential development in periurban Santiago, Chile*. Cities, 21 (6): 513-526.

Mininni M. V. (2005) *Dallo spazio agricolo alla campagna urbana*, in "Urbanistica", 128: 7-37.

Rykwert J. (2003) – *La seduzione del luogo*. Einaudi, Torino.

Thornton A. (2008) – *Beyond the Metropolis: Small Town Case Studies of Urban and Peri-urban Agriculture in South Africa*. Urban Forum, 19 (3): 243-262

Tosi A. (1999) – *Degrado ambientale periurbano e restauro naturalistico*. Franco Angeli, Milano.

Tötzer T. (2008) – *Relationships between urban-periurban-rural regions. First findings from the EU project PLUREL*. www.ruralitynearthecity.com

Valentini A. (2005) – *Progettare Paesaggi di Limite*. http://www1.unifi.it/rivista/quaderni/2005/quaderno_05/pdf/13_Valentini_Paesaggi%20di%20limite.pdf

Valutazioni di stabilità del Duomo di Pienza: il contributo della prospezione sismica

Domenico Pileggi, Gianfranco Gargani, Dario Albarello

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

Introduzione

Il Duomo di Pienza rappresenta uno dei massimi esempi di architettura gotico-rinascimentale della Toscana. La cattedrale è ubicata sul margine meridionale del centro storico del paese ed è l'elemento cardine della splendida piazza che l'architetto Bernardo Rossellino dedicò a Papa Pio II, suo committente.

Nonostante la collocazione del Duomo appaia perfetta da un punto di vista formale, il suo piano di posa risulta alquanto inadeguato. Fin dall'inizio dei lavori di costruzione, infatti, la roccia ampiamente fratturata ed entro la quale andavano ancorate le fondazioni, fu motivo di continui problemi sia per l'architetto che per il suo autorevole committente. L'edificio ed ulteriori aree dell'abitato risultano sottoposte a fenomeni di dissesto la cui origine sembra avere cause di natura geologica e geomorfologica. L'ipotesi ad oggi più plausibile ed avvalorata da numerosi studi ed interventi realizzati da varie amministrazioni, interpreta tali dissesti (forti lesioni nelle strutture e nelle pavimentazioni) come l'effetto di un fenomeno franoso di estese proporzioni che coinvolge oltre alla parte absidale del Duomo, anche tutto il versante meridionale del rilievo su cui è posto il centro abitato.

Allo scopo di fornire informazioni utili per caratterizzare questo fenomeno è stata eseguita una campagna di esplorazione del sottosuolo del versante della collina immediatamente al di sotto del Duomo (Fig. 1).

In relazione al contesto geologico-geomorfologico e all'estensione dell'area da esaminare, le metodologie di indagine scelte sono state quelle di tipo geofisico. Queste tecniche di indagine si basano sull'esecuzione e l'interpretazione di misure eseguite alla superficie del terreno senza che sia necessaria l'esecuzione di perforazioni, garantendo costi contenuti (per unità di volume di sottosuolo indagato) ed un basso impatto ambientale.

Fra le molte tecniche geofisiche disponibili, quelle basate sullo studio delle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo (metodi sismici) risultano di maggiore utilità nel caso in questione. Infatti queste velocità dipendono dalle caratteristiche meccaniche del sottosuolo indagato (rigidità, densità, ecc.) e quindi studiando le loro variazioni è possibile individuare parti del sottosuolo con diverso comportamento meccanico o con diversa composizione e struttura. In particolare, le velocità di propagazione delle onde sismiche sono maggiori nei materiali più rigidi rispetto a quella



Fig. 1 - Profilo topografico del versante meridionale della collina su cui insiste il centro storico di Pienza interessata dalla campagna di misure geofisiche. Le quote sono indicate in metri sul livello del mare.

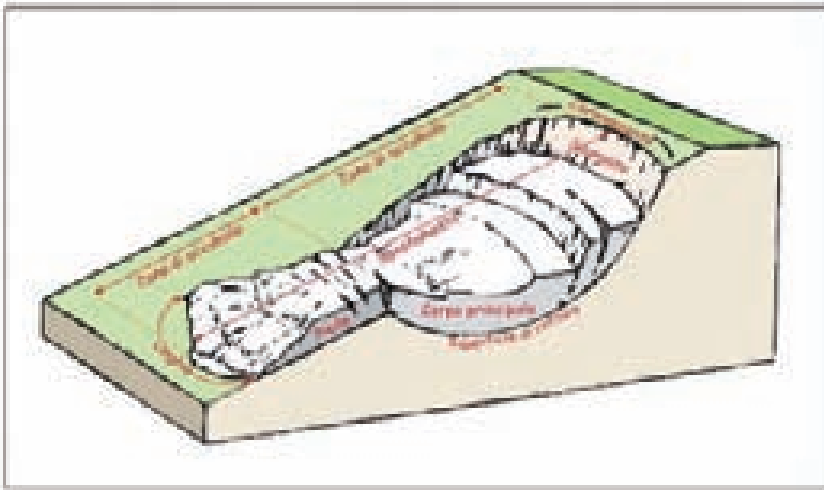


Fig. 2 - Schema generale di una frana con scivolamento "rotazionale" (da Varnes, 1978).

delle onde che si propagano in materiali con proprietà meccaniche scadenti. Questa caratteristica rende particolarmente utile lo studio della velocità di propagazione delle onde sismiche in aree in frana. Infatti, in un versante in frana è possibile identificare varie parti del sottosuolo con diverso comportamento meccanico (Varnes, 1978) (Fig. 2).

Schematicamente, in un corpo di frana possiamo distinguere almeno due strati: lo strato superiore rappresenta il corpo di frana vero e proprio ed è costituito da materiale fortemente deteriorato (rimaneggiato) proprio a causa del movimento della frana. Quindi si tratterà di materiali con proprietà meccaniche scadenti (minore resistenza alla deformazione) e minore densità (nel suo movimento, il corpo di frana di è "sbriciolato" aprendo tante intercapedini e vuoti al suo interno); al di sotto di questo corpo si trova invece il materiale "in posto" ovvero il materiale che non viene interessato dal fenomeno franoso ed è quindi caratterizzato da materiali con maggiore rigidità e densità (maggiore rigidità e densità) rispetto al corpo di frana stesso. Studiando le velocità di propagazione delle onde sismiche è quindi possibile determinare il confine che separa i materiali rimaneggiati (il corpo di frana) rispetto ai materiali in posto "substrato". D'altro canto, stabilire lo spessore del corpo di frana è assai importante per mettere in opera strategie di contenimento del fenomeno franoso e valutarne l'evoluzione. Per esempio, una corpo di frana molto spesso sarà caratterizzato da una massa in movimento molto maggiore di quella di un corpo sottile e quindi saranno necessarie forze resistenti maggiori per bilanciare le forze di gravità che mettono in moto la frana stessa. Per evitare una frana è infatti necessario applicare sui terreni o sul corpo roccioso una forza

uguale e contraria alla forza che mette in moto il dissesto. Dato che quest'ultima è proporzionale alla forza di gravità moltiplicata per la densità e per il volume corpo di frana, tanto maggiore sarà il volume della frana tanto maggiore sarà la forza necessaria ad arginarla.

Nella prima parte del presente articolo vengono brevemente descritte le principali caratteristiche dei metodi di prospezione sismica che sono stati applicati, mentre nella seconda vengono brevemente illustrati i risultati ottenuti nel corso

di alcune campagne di misura condotte negli ultimi anni dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena lungo il versante della collina su cui insiste il Duomo di Pienza.

I metodi sismici

Si è detto che i metodi sismici permettono di studiare le caratteristiche del sottosuolo a partire dalla misura delle velocità di propagazione delle onde sismiche che in quel sottosuolo si propagano. Queste onde sismiche possono essere generate artificialmente e mediante sorgenti controllate (metodi sismici attivi) o essere presenti nel terreno come effetto di sorgenti naturali come il vento o le mareggiate o artificiali (ma non controllate) come il traffico cittadino o l'attività industriale (metodi sismici passivi).

Nei vari metodi si studiano i segnali prodotti dalle diverse onde sismiche in un insieme di sensori (geofoni) posti alla superficie del terreno. Questi sensori possono essere distribuiti secondo geometrie variabili fino a coprire distanze dell'ordine delle decine di metri (metodi ad antenna sismica) o posti in un unico punto (metodo a stazione e singola). In figura 3 è possibile osservare la disposizione dei sensori per le due diverse tecniche d'indagine.

Nel caso dei metodi ad antenna sismica vengono, solitamente misurati i tempi di arrivo delle diverse onde ai sensori che costituiscono l'antenna. L'insieme di questi tempi di arrivo permette di valutare le velocità di propagazione delle onde che durante la misura hanno attraversato l'antenna sismica. Le velocità di propagazione ottenute sono velocità "apparenti" che dipendono dal percorso seguito dall'onda mentre attraversavo lo stendimento. Utilizzando tecniche numeriche opportune e



Fig. 3 - Nel pannello di sinistra è possibile osservare la disposizione dei sensori realizzata per un'antenna sismica a geometria lineare. Nel pannello di destra, invece, è visualizzato un unico sensore utilizzato per la metodologia d'indagine definita a "stazione singola".

specifici modelli interpretativi è possibile risalire da queste velocità apparenti alle effettive velocità di propagazione nel sottosuolo. Ovviamente, tanto maggiore sarà la penetrazione delle onde generate alla superficie del terreno, tanto maggiori saranno le profondità di indagine raggiungibili. Inoltre, tanto meglio noti saranno i tempi di propagazione delle onde, tanto migliore sarà la conoscenza ottenuta sulle caratteristiche del sottosuolo. In generale, i metodi attivi utilizzano sorgenti caratterizzate da basse energie (per motivi di applicabilità pratica anche in contesti urbani) e quindi raramente possono raggiungere profondità di esplorazione superiori a qualche decina di metri. Questa minore profondità di esplorazione è però bilanciata da una maggiore precisione nella determinazione dei tempi di propagazione garantita dal fatto che la sorgente è nota e controllata. D'altro canto le tecniche passive possono sfruttare sorgenti molto energetiche (si pensi alle onde marine) e sono quindi caratterizzate da maggiori profondità di esplorazione (centinaia di metri) ma anche da una minore precisione di misura.

Accanto a queste tecniche basate sull'impiego di una antenna sismica esistono altre tecniche basate sull'uso di una singola stazione di misura. In questo caso vengono misurate le vibrazioni ambientali (è un esempio di sismica passiva) nelle tre direzioni dello spazio. In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero *Horizontal to Vertical Spectral Ratios*) (Nakamura, 1989). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno. In particolare è possibile individuare la frequenza f di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (per esempio la parte alterata del

corpo di frana) e la velocità media delle onde simili nel sottosuolo (ricavata per esempio dai metodi con antenna), attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato.

L'esplorazione della collina di Pienza

Enea Silvio Piccolomini, divenuto Papa nel 1458 con il nome di Pio II, decise di fissare la propria residenza estiva in Val d'Orcia, terra che gli aveva dato i natali. Affidò, dunque, a Bernardo Rossellino la progettazione e la realizzazione di una nuova cittadina che rispecchiasse i suoi ideali di raffinato ed insigne umanista, precursore e protagonista di quel periodo storico che avrebbe preso il nome di Rinascimento.

Bernardo Rossellino, allievo di Leon Battista Alberti, riuscì a creare una "città ideale" suscitando sorpresa e stupore nello stesso Papa. Tra il 1459 e il 1462 fu realizzato il complesso del Duomo, del Palazzo Papale e della relativa piazza. Quasi subito comparvero, in particolare nella porzione centrale e absidale del Duomo, lesioni che hanno indotto ad eseguire, nell'arco di cinque secoli, ingenti opere di sottofondazione e drenaggio. Inizialmente si pensava, infatti, che la causa dei dissesti fosse la roccia ampiamente fratturata entro la quale furono ancorate le fondazioni. Tuttavia nel corso degli anni le numerose indagini di tipo geotecnico, geologico e geomorfologico realizzate hanno permesso di ipotizzare la presenza di un esteso movimento franoso che insiste sul versante meridionale della collina su cui sorge il piccolo borgo di Pienza. In particolar modo una serie di indizi geomorfologici quali contropendenze e scarpate oltre alle generali caratteristiche della geologia dell'area hanno consentito di attribui-



Fig. 4 - Ubicazione delle misure e delle sezioni sismo-stratigrafiche realizzate.

re i fenomeni di dissesto ad una frana di tipo rotazionale ovvero la superficie su cui insiste il movimento potrebbe essere curvilinea e concava verso l'altro. L'Università degli Studi di Siena ha realizzato dal 2005 al 2008 una campagna di indagini sismiche con lo scopo di definire la geometria e la natura del dissesto. Le tecniche utilizzate sono i già discussi metodi ad "antenna sismica" e "stazione singola". La campagna di misure è stata condotta indagando inizialmente il versante meridionale del borgo con misure di tipo passivo a "stazione singola". La rapidità e facilità d'esecuzione nonché la marcata non invasività di questa tipologia d'indagini ha consentito di coprire buona parte dell'estesa area sulla quale è ipotizzato il dissesto. Successivamente sono state realizzate misure con antenna sia in tecnica attiva che passiva. Le metodologie attive hanno permesso di ricavare con buona precisione la velocità delle onde sismiche degli strati superficiali del sottosuolo fino ad una profondità di circa 30 metri, mentre le tecniche passive, seppur con minor dettaglio, hanno consentito di vincolare le velocità degli strati più profondi. Utilizzando, infine, congiuntamente la velocità di propagazione delle onde sismiche ricavata dalle indagini su antenna e la frequenza di vibrazione dei materiali ottenuta mediante la tecnica HVSR a stazione singola, è stato possibile ricostruire l'andamento in profondità di possibili superfici di separazione tra materiali con differenti caratteristiche fisico-meccaniche. In figura 4 è possibile visualizzare l'ubicazione delle misure e delle sezioni sismo-stratigrafiche realizzate con i risultati ottenuti.

La sezione numero 1, ubicata sul margine Est del borgo subito sotto la parte absidale del Duomo,

si estende per circa un chilometro in direzione Sud-Ovest, raggiungendo le pendici del versante oggetto dei nostri studi. L'analisi dei dati ricavati dalle indagini realizzate dimostrano la presenza di 3 possibili superfici di discontinuità legate ad eventuali variazioni delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali (Fig. 5). L'orizzonte più profondo (transizione marrone-grigio in fig.) ha un andamento sub-orizzontale e si colloca a circa 100-200 metri dal piano campagna. Questa discontinuità interpretata in chiave geologica potrebbe rappresentare la transizione dalla Serie Toscana (sub-strato roccioso) alla formazione delle Argille della Val d'Orcia (Calabresi *et al.*, 1995). A circa 30-70 metri dal piano campagna è presente un secondo orizzonte (transizione rosato-marrone in figura 5) con andamento sub-parallelo alla superficie topografica. Questa interfaccia sembra estendersi all'interno della formazione argillosa e potrebbe rappresentare il piano su cui si sviluppa il movimento del dissesto in atto. Infine col colore giallo è indicato un ultimo strato superficiale con uno spessore compreso tra i 4 e 10 metri. Potrebbe trattarsi di un soliflusso accompagnato da piccole frane di colamento; in pratica si tratterebbe di piccole frane secondarie che si impostano sulla frana principale e che stati rilevati in tutta l'area circostante.

La sezione numero 2 si sviluppa lungo una linea spezzata indicata in figura 4 dalle sigle c-d-e. Il primo tratto (c-d), parallelo alla sezione numero 1, è lungo all'incirca 700 metri mentre il secondo tratto (d-e) è di circa 400 metri. Le superfici di discontinuità osservabili in figura 6 mostrano tutte un andamento sub-parallelo rispetto al piano morfologico e



Fig. 5 - Sezione sismo-stratigrafica numero 1.



Fig. 6 - Sezione sismo-stratigrafica numero 2.



Fig. 7 - Sezione sismo-stratigrafica numero 3.

non presentano sostanziali differenze rispetto a quelle illustrate in sezione 1. Un'unica, ma poco significativa differenza è la comparsa di un strato superficiale con spessore pari o inferiore ad 1 metro. Tale strato, appena accennato in verde in figura 6 è stato interpretato come suolo e terreno agricolo.

La sezione numero 3, ubicata ad Ovest dell'abitato di Pienza, ha una lunghezza di circa 600 metri ed una direzione che va da NN-E a SS-W. Le caratteristiche del sottosuolo, anche in questo caso, si accordano perfettamente con quanto già illustrato per le precedenti sezioni. L'unica differenza risiede nell'andamento della discontinuità più profonda (transizione marrone-grigio in figura 7) che scende a profondità maggiori nella parte centrale del tratto di sezione. Quanto detto indicherebbe una maggior potenza dei sedimenti argillosi in quest'area.

Conclusioni

Sulla base delle misure condotte è stato possibile individuare nel sottosuolo dell'area esplorata alcune superfici di discontinuità che separano volumi di materiali caratterizzati da comportamento mecca-

co (rigidità e densità) differente. In particolare è stato possibile identificare, attraverso le prospezioni di tipo passivo, una discontinuità profonda (circa 90-150 metri dal piano campagna) potenzialmente associata al basamento roccioso (serie Toscana) posta alla base dei depositi argillosi che caratterizzano il versante meridionale dell'abitato di Pienza. Questa discontinuità si sviluppa in generale lungo un piano sub-orizzontale o debolmente inclinato verso Sud senza mostrare evidente correlazione con l'andamento del pendio. Le altre due discontinuità, invece, poste rispettivamente attorno a i 30-50 metri e 5-10 metri dal piano campagna si sviluppano

lungo piani inclinati ben correlati all'andamento del pendio. Sembra ragionevole ipotizzare che queste due ultime superfici rappresentino l'espressione in profondità (superfici di scivolamento) di un possibile corpo di frana potenzialmente responsabile del dissesto che condiziona il Centro Storico e la Cattedrale di Pienza. Finora la presenza di tali superfici era stata solo ipotizzata. Va tenuto presente che l'adozione di questo modello interpretativo avrebbe conseguenze importanti sullo sviluppo di possibili piani di intervento. Innanzitutto eventuali interventi volti a consolidare le sole strutture di fondazione del Duomo (ovvero immediatamente al di sotto dell'abside) sarebbero di scarsa utilità dato che il fenomeno coinvolge un'area assai più vasta. Inoltre, lo spessore del corpo di frana (e quindi la massa di terreno coinvolta dal movimento) avrebbe dimensioni tali da scoraggiare eventuali interventi di contenimento.

Testi citati

Calabresi G., Izzo S., Lazzarotto A., Menicori P. & Pieruccini U. (1995) – *Movimenti gravitativi nell'area di Pienza. Mem. Soc. Geol. It.*, vol.50, 67-82.

Nakamura Y. (1989) – *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Tech. Res. Inst.* 30, 25-33.

Varnes D.J. (1978) – *Slope movements type and process, landslides analysis and control. Washington Transp. Research Board, Nat. Acad. Sci. Spec. Rept 176: 11-13.*

Studi di ecologia e paleolimnologia nell'area protetta di Edmonson Point (Terra Vittoria, Antartide)

Francesca Borghini, Andrea Colacevich, Silvia Olmastroni

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Via Mattioli 4 – 53100 Siena

L'ambiente antartico

L'ambiente antartico è caratterizzato da basse temperature, che possono raggiungere i $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante l'inverno australe, scarse precipitazioni (inferiori a 250 mm/anno) e venti localmente forti e persistenti. Inoltre i raggi solari hanno una forte inclinazione rispetto alla verticale e la spessa coltre di ghiaccio riflette la maggior parte della radiazione incidente (albedo). La combinazione di questi fattori rende di fatto l'Antartide il più grande deserto freddo del mondo.

Le aree deglacciate costituiscono circa il 3% del continente e si trovano prevalentemente lungo la fascia costiera e nella Penisola Antartica. Sono costituite da affioramenti rocciosi (ciottoli, massi, ghiaie) prodotti dai processi di alterazione fisica delle rocce, come l'erosione glaciale, eolica e/o dalle eruzioni vulcaniche. Infatti, la carenza di acqua allo stato liquido fa sì che i processi di alterazione chimica delle rocce siano molto lenti e i suoli assomiglino alla roccia madre. I substrati sono quindi poveri di materia organica e di nutrienti e sono caratterizzati dalla presenza del permafrost, che impedisce la migrazione degli ioni in soluzione verso il basso.

Le temperature molto rigide, la violenza dei venti, la prolungata oscurità invernale, la vasta estensione della calotta di ghiaccio, la bassa percentuale di umidità dell'aria e soprattutto la scarsa disponibilità di acqua allo stato liquido rendono l'Antartide una regione inospitale all'insediamento ed allo sviluppo della vita. In netto contrasto con l'abbondanza di forme di vita dell'Oceano Antartico, che è ricco e diversificato come nelle zone temperate e tropicali, gli organismi terrestri sono pochi e per poter sopravvivere in condizioni così avverse hanno sviluppato strategie adattative che consistono nella resistenza al freddo e all'essiccamento, nell'allungamento del ciclo biologico, nella riproduzione asessuata e

nella protezione dalle radiazioni ultraviolette. La vegetazione è composta da alghe, licheni, muschi, funghi ed epatiche. Le felci sono del tutto assenti, mentre le uniche specie di fanerogame presenti sono la poacea *Deschampsia antarctica* e la cariofillacea *Colobanthus quitensis*, che si trovano solo nella Penisola Antartica. Le comunità di cianobatteri e di alghe sono riscontrabili generalmente in tutti gli ambienti che dispongono almeno per qualche tempo di acqua e laddove esse hanno colonizzato il substrato hanno creato ambienti favorevoli anche per la vita di organismi animali come protozoi, tardigradi, collemboli, acari, nematodi e rotiferi rendendo disponibile il cibo e proteggendoli dal disseccamento. Invece la fauna di grandi dimensioni è rappresentata esclusivamente da uccelli (sulla terraferma nidificano 7 specie di pinguini, 25 procellarie e alcune specie di stercorari e sterne) e mammiferi di origine marina (le foche sono le più comuni). La maggior parte della vita sulla terraferma si sviluppa nelle aree costiere deglacciate per alcune settimane estive (Kennedy, 1993), in stagni, laghetti e ruscelli superficiali (Camacho, 2006). Ad ogni modo, la densità e la diversità biotica diminuiscono in funzione della disponibilità di acqua, ovvero spingendosi verso l'interno del continente e/o salendo di quota.

Generalmente i laghi antartici sono di dimensioni ridotte, si sviluppano durante l'estate australe e sono alimentati dal temporaneo scioglimento dei ghiacciai e della neve (Sabbe *et al.*, 2004; Bargagli, 2005). Possono essere congelati lungo tutto il profilo verticale, essere coperti per 8-10 mesi all'anno da uno strato di ghiaccio o possono deglacciare parzialmente o completamente durante l'estate (Simmons *et al.*, 1993; Sabbe *et al.*, 2004). La copertura ghiacciata è uno dei fattori principali che ne regolano le dinamiche chimiche fisiche e biologiche, riducendo la penetrazione della luce e il rimescolamento

della colonna d'acqua, eliminando la risospensione dei sedimenti causata dal vento e limitando lo scambio di gas con l'atmosfera (Allende & Izaguirre, 2003; Borghini *et al.*, 2007). Le loro dinamiche sono determinate soprattutto da fattori fisici (cicli gelo-disgelo, alterazione fisica delle rocce e dei suoli) e chimici (idrolisi, solubilizzazione e precipitazione), in quanto le interazioni biotiche sono di minore importanza rispetto a quelle di altre latitudini. Le caratteristiche chimiche delle acque dipendono dalla geologia del substrato, dalla chimica delle acque di captazione, dalla distanza dal mare, dalla presenza/assenza di una copertura di ghiaccio permanente e dalla presenza di animali di grandi dimensioni (Ellis-Evans, 1996; Borghini & Bargagli, 2004). Quindi le acque dei laghi possono variare da uno stato oligotrofico ad uno stato eutrofico nei bacini lacustri frequentati da uccelli e mammiferi marini, dove possono verificarsi anche processi anossici (Butler, 1999). Tali fenomeni possono verificarsi anche in quei laghi dove la degradazione delle comunità bentoniche, delle microalghe, dei muschi e la fissazione dell'azoto svolta da cianobatteri azoto-fissatori, possono portare ad un arricchimento di nutrienti nella colonna d'acqua (Sabbe *et al.*, 2004). Tuttavia, la maggior parte dei laghi antartici è oligotrofica (Vincent, 1988). In questi ambienti le condizioni estreme per la vita determinano una limitata biodiversità e reti trofiche più semplici rispetto a quelle delle regioni temperate o tropicali (Laybourn-Parry 2002, Allende & Pizarro 2006). La densità e la diversità delle comunità biotiche aumenta nei corpi d'acqua privi di ghiaccio, situati in zone costiere libere dai ghiacci e vicine a colonie di uccelli e mammiferi marini, in quanto si aumenta la disponibilità di luce e nutrienti (Borghini *et al.*, 2007). Le popolazioni delle comunità fitoplanctoniche e quelle delle comunità fitobentoniche sono in relazione con lo stato trofico dei laghi: laghi ultra-oligotrofici presentano una ridotta popolazione fitoplanctonica e la vegetazione è dominata dal fitobenthos (Bonilla *et al.*, 2005), mentre aumentando il grado di trofia, la comunità dominante cambia da fitobenthos a fitoplancton (Izaguirre *et al.*, 1998; Allende & Izaguirre, 2003).

Tra i depositi continentali, quelli lacustri costituiscono uno dei più completi e dettagliati archivi documentanti l'evoluzione temporale del bacino lacustre, del paesaggio ad esso circostan-

te e del clima della regione. Infatti, dallo studio delle proprietà chimico-fisiche dei livelli sedimentari e dai resti biologici e biochimici in essi contenuti, è possibile risalire alle condizioni ambientali del lago nel momento in cui tali livelli si depositarono; datando questi ultimi, inoltre, diviene possibile ricostruire la storia del lago.

Tra gli indicatori biochimici, i pigmenti fotosintetici hanno un ruolo fondamentale. Infatti, mentre alcuni, come la chl *a* e il β -carotene, sono ubiquitari in tutte le classi algali e possono essere usati per stimare l'abbondanza totale delle alghe (Borghini *et al.*, 2007), altri come l'alloxantina, la luteina, la fucoxantina e la zeaxantina sono usati come indicatori di specifici gruppi algali (Jeffrey *et al.*, 1997; Borghini *et al.*, 2007), fornendo informazioni sull'abbondanza e sulla composizione delle comunità fototrofiche. Inoltre, sia le forme originali che quelle degradate, conservandosi per lungo tempo nel comparto sedimentario dopo che le strutture biologiche

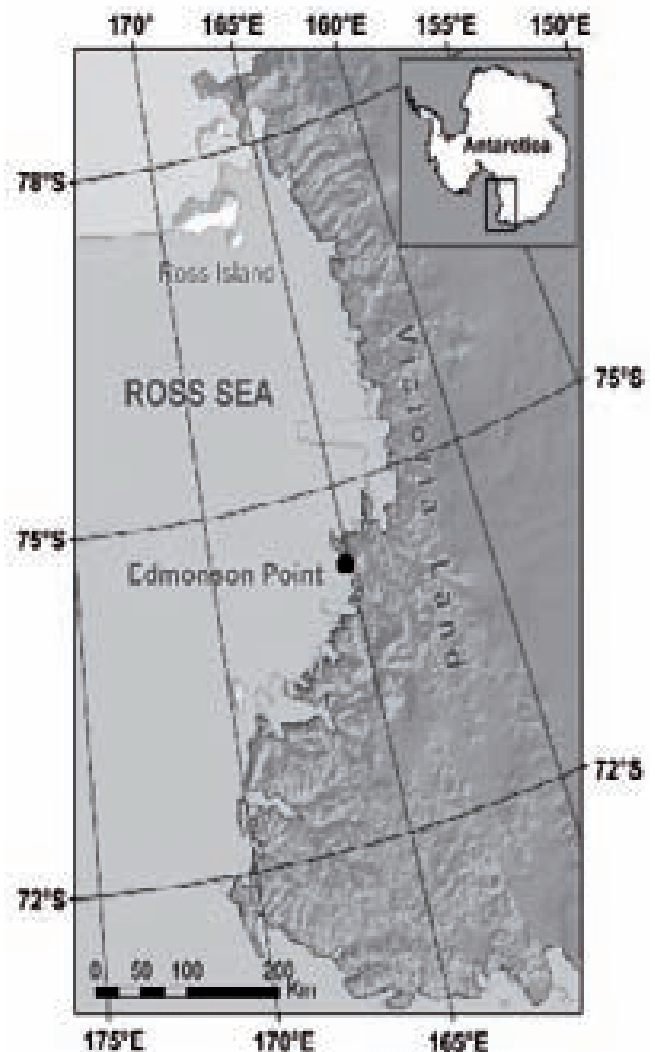


Fig. 1 - La Terra Vittoria.

sono scomparse, vengono utilizzate anche in indagini paleolimnologiche (Leavitt & Hodgson, 2001). Le analisi di carote di sedimento forniscono indicazioni sulla composizione delle comunità algali nel tempo e, indirettamente, sulle condizioni fisico-chimiche del lago e sugli eventuali cambiamenti delle condizioni ambientali (Leavitt & Hodgson, 2001). Dato che diversi studi hanno già dimostrato come i laghi antartici rappresentino indicatori precoci dei cambiamenti ambientali, l'obiettivo principale degli studi paleolimnologici in questo continente è quello di eseguire analisi di dettaglio dell'evoluzione temporale delle condizioni fisiche, chimiche e biologiche degli ecosistemi lacustri e della variabilità climatica naturale a medio e a lungo termine.

La Terra Vittoria

La Terra Vittoria (Fig. 1) è una delle aree deglacciate più estese dell'Antartide Continentale e da molti anni l'Università di Siena vi svolge attività di ricerca nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA).

Oltre a numerosi laghi, la zona costiera ospita anche numerose colonie di Pinguino di Adelia (*Pygoscelis adeliae*, Fig. 2), Pinguino imperatore (*Aptenodytes forsteri*), Petrello niveo (*Pagodroma nivea*), Skua (*Stercorarius maccormicki*) e Petrello delle tempeste di Wilson (*Oceanites oceanicus*). Nella Baia Terra Nova, la zona marginale del ghiaccio marino che delimita l'area di polynya (area di mare circondata da ghiaccio marino) rappresenta un importante habitat per le attività di foraggiamento di uccelli e mammiferi marini. Durante l'estate australe in questa zona vengono regolarmente avvistati gruppi di Orca (*Orcinus orca*) composti da 10-20 esemplari (Ainley *et al.*, 2009) ed individui di Balenottera minore antartica (*Balaenoptera bonaerensis*). Durante il periodo riproduttivo, nella Baia Terra Nova e nella Baia di Wood sono stati contati oltre 250 adulti di Foca di Weddell (*Leptonychotes weddelli*). Nelle aree di Inexpressible Island e Adélie Cove uno di noi (S. O.) ha avvistato esemplari di Foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) mentre predavano adulti di Pinguino di Adelia.

Durante l'estate australe circa 1.300.000 coppie di pinguini di Adelia, quasi la metà della popolazione mondiale di questa specie, nidifi-



Fig. 2 - Il Pinguino di Adelia (*Pygoscelis adeliae*).

cano nella regione del Mare di Ross (Woehler, 1993). Sono state censite 26 colonie lungo la Terra Vittoria, tra Cape Adare e Ross Island. Pertanto, considerando anche le stime per gli immaturi, il numero totale di pinguini presenti nella zona supera i cinque milioni di individui (Woehler, 1993). Nelle vicinanze di Baia Terra Nova sono situate tre colonie di Pinguino di Adelia: Inexpressible Island e Adélie Cove a Sud ed Edmonson Point a Nord. L'attuale popolazione di pinguini ha ricolonizzato le zone costiere della Terra Vittoria, che era stata abbandonata durante l'ultimo massimo glaciale quando il Mare di Ross era occupato dal ghiaccio marino. La recessione dello strato di ghiaccio, che è cominciata 17.000 anni fa ed è stata completata nei primi anni dell'Olocene, ha favorito la presenza continua di pinguini lungo la costa della Terra Vittoria, come documentato da Baroni & Orombelli (1994a). Pur risultando sparsi lungo la costa, i siti di nidificazione sono concentrati soprattutto nelle spiagge oloceniche emerse e nei terrazzi marini. La presenza di suoli ornitogenici in numerosi siti (Baroni &

Orombelli, 1994b) testimonia che in passato la maggior parte delle zone costiere libere dal ghiaccio è stata usata dalle colonie di pinguini e anche dagli Elefanti marini (*Mirounga leonina*) come luogo in cui riprodursi (Hall *et al.*, 2006; Lorenzini *et al.*, 2009). Altri siti di nidificazione abbandonati sono stati rinvenuti nelle vicinanze di diverse colonie attualmente stanziate in prossimità della Baia Terra Nova (Inexpressible Island, Edmonson Point, Northern Foothills: Baroni & Orombelli, 1994; Lorenzini *et al.*, 2009). La stessa area che attualmente è sede della stazione scientifica Italiana “Mario Zucchelli” era in passato un luogo di occupazione (Baroni & Orombelli, 1994a).

L'area protetta di Edmonson Point

Nell'ambito dell'Antarctic Treaty Consultative Meeting (ATCM) dal 2003 al 2006 l'Italia ha proposto l'istituzione di due aree protette, rispettivamente Adélie Cove (MPA, Marine Protected Area, n. 161) ed Edmonson Point (ASPA, Antarctic Specially Protected Area, n. 165). Insieme alla ASPA n. 118 di Cryptogam Ridge (Monte Melbourne), istituita nel 2003 su richiesta della Nuova Zelanda, questi siti formano un comprensorio areale di alto valore scientifico ed ambientale nelle vicinanze della stazione Italiana “Mario Zucchelli”.

Numerosi studi multidisciplinari condotti ad Edmonson Point hanno permesso di individuare le principali caratteristiche dell'area e delle specie presenti e di delineare i principali valori da gestire e conservare. La particolare ricchezza in specie animali e vegetali rende Edmonson Point l'area deglaciata più importante del comprensorio della Wood Bay e quasi l'unica della Terra Vittoria.

Edmonson Point (74°20' S e 165°08' E, Fig. 1) si trova alla base del Monte Melbourne (2732 m), un vulcano quiescente con attività fumarolica. Affacciata sulla Wood Bay, ha un'estensione di circa 6 km² ed è caratterizzata da varie colline, alte circa 300 m e separate da piccole valli nelle quali sono presenti laghi, stagni e piccoli corsi d'acqua. La superficie, composta essenzialmente da materiali di origine vulcanica (pomice, lava, ecc.) è di colore scuro con porzioni marroni e gialle dovute alle scorie laviche ed al tufo. Le pendici collinari sono instabili, molto aride e

senza tracce di vegetazione, mentre i piani delle ampie valli ed i bacini sono coperti da uno strato di scorie fini e sabbia grossolana dove in estate la presenza di acqua e dei pinguini, che qui nidificano insieme agli skua (Olmastroni *et al.*, 2000), favoriscono lo sviluppo di alghe, muschi e licheni. La fauna terrestre è caratterizzata dalla presenza di alcune specie di acari e collemboli, i quali vivono nella zona tra la superficie inferiore dei sassi ed i primi centimetri del sottosuolo (Caruso & Bargagli 2007).

I principali valori, ambientali e scientifici, individuati per l'area protetta di Edmonson Point possono essere riassunti come segue:

- sito tra i più importanti della Terra Vittoria per l'esteso e variegato ecosistema terrestre e di acqua dolce;
- sito rappresentativo per le colonie riproduttive di pinguino e skua;
- sito di studio per il programma di monitoraggio sulla Conservazione delle Risorse Marine Viventi in Antartide;
- area di svezamento per le foche di Weddell;
- elevato valore scientifico per lo studio dell'ecologia degli uccelli marini e degli ecosistemi terrestri e di acqua dolce.

Scopo del presente lavoro è quello di presentare alcuni degli studi paleolimnologici ed ecologici condotti ad Edmonson Point essendo tanto gli ecosistemi lacustri quanto la presenza di pinguini una caratteristica fondamentale di questa zona.

Come è stata condotta la ricerca

PALEOLIMNOLOGIA

I laghi oggetto del presente studio sono il Lago 14 e il Lago 15 (Fig. 3). Il primo, ubicato a circa 300 m dalla costa, presenta vasti tappeti algali ed è frequentato da una colonia di skua e pinguini, sebbene questa non nidifica direttamente sulle sue sponde. Negli ultimi dieci anni il livello del lago è diminuito drasticamente: nel 1988-1989 la superficie era di 4.000 m² (rilevata topograficamente da Guilizzoni *et al.*, 1989), nel 1993-1994 misurava 3.202 m² (misurata tramite ortofoto) e nel 2003-2004 era di 2.051 m² (determinata con Quick Bird, Fig. 4C). Il Lago 15, invece, si trova sulla spiaggia ed è perennemente coperto da una calotta di ghiaccio che si decongela solo minimamente ai bordi durante il periodo estivo. A differenza del Lago 14, nell'ultima

decade il livello delle sue acque è rimasto pressoché invariato.

Nella parte più profonda di entrambi i laghi sono state prelevate due carote di sedimento utilizzando un carotiere manuale. Le carote sono poi state sezionate ad intervalli di 1 cm direttamente sul campo, congelate e conservate a -20 °C per il trasporto in Italia.

Subaliquote di sedimento liofilizzato sono state inviate all'ISMAR (Istituto di Scienze Marine, Bologna) e datate analizzando il ^{210}Pb tramite la spettroscopia alfa ed assumendo un equilibrio speculare tra i due isotopi, previa estrazione secondo il protocollo proposto da Frignani *et al.* (1993). I tassi di sedimentazione sono stati calcolati utilizzando un modello a flusso e sedimentazione costante (CF-CS) in base al profilo log-normale del ^{210}Pb .

Circa 2 g di sedimento fresco omogeneizzato sono stati estratti con 5 ml di acetone in ultrasuoni. L'estrazione è stata eseguita in condizioni di semioscurità (i pigmenti fotosintetici sono fotolabili) e le concentrazioni sono state determinate mediante cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC) accoppiata con un PDA (*photodiode array*) e con uno spettrometro di massa (MS). Sono state utilizzate due colonne in serie, Spherisorb ODS2 Hypersil, 150 x 4,6 cm, 5 μm di diametro delle particelle con una precolonna con la stessa fase stazionaria. Il programma solventi utilizzato è quello proposto da Pinckney *et al.* (1996), con flusso che variava da 0,8 a 1,25 ml min^{-1} e 50 μL di campione iniettati ogni volta. Le analisi sono state condotte in modalità positiva con i seguenti parametri strumentali: temperatura del capillare 250 °C, temperatura di vaporizzazione 350 °C, voltaggio 4 kV, flusso dello sheat gas 40 (unità arbitrarie) e dell'ausiliario 10 (unità arbitrarie). La quantificazione è stata effettuata costruendo una curva di calibrazione con composti standard (chl *a*, chl *b*, α - e β -carotene forniti da Sigma-Aldrich; alloxantina, anteraxantina, 19'-butanoyloxyfucoxantina, cantaxantina, clorofillide *a*, clorofilla *c2* e *c3*, divinyl clorofilla *a*, fucoxantina, diadinoxantina, echinone, 19'-hexanoyloxyfucoxantina, licopene,

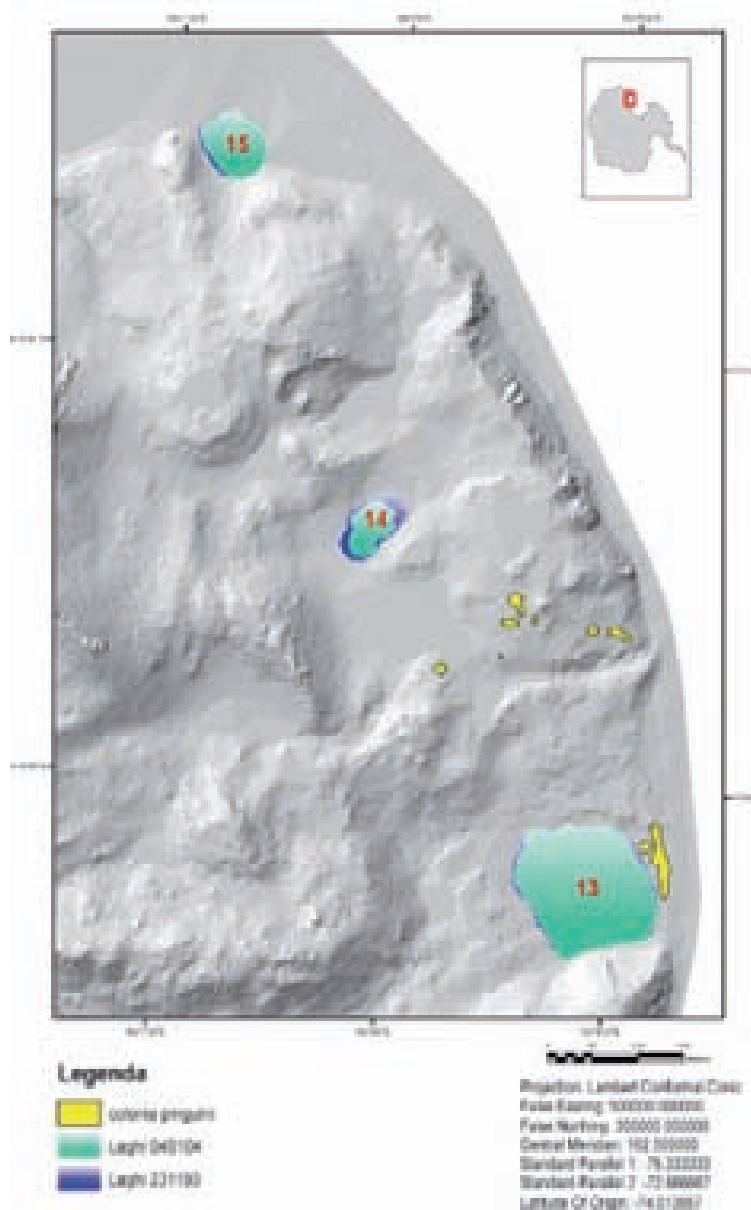


Fig. 3 - L'area di studio.

mixoxantofilla, neoxantina, peridina, feofitina *a*, feoforbide *a*, luteina, prasinoxantina, violaxantina, zeaxantina dall'International Agency for 14C Determination, Hoersholm, Danimarca). I composti sono stati identificati confrontando l'assorbimento massimo e lo spettro di massa con quelli degli standard. Per i composti di cui non erano disponibili gli standard, l'identificazione qualitativa è avvenuta mediante ricerche bibliografiche confrontando i picchi di assorbimento massimi con quelli riportati in letteratura, mentre l'identificazione quantitativa è avvenuta usando i coefficienti di estinzione specifica riportati in letteratura (Jeffrey *et al.*, 1997).

ECOLOGIA ANIMALE

I parametri riproduttivi sulla popolazione del pinguino di Adelia sono stati monitorati per ogni



Fig. 4a - Il Lago 14 il 27 dicembre 2003.

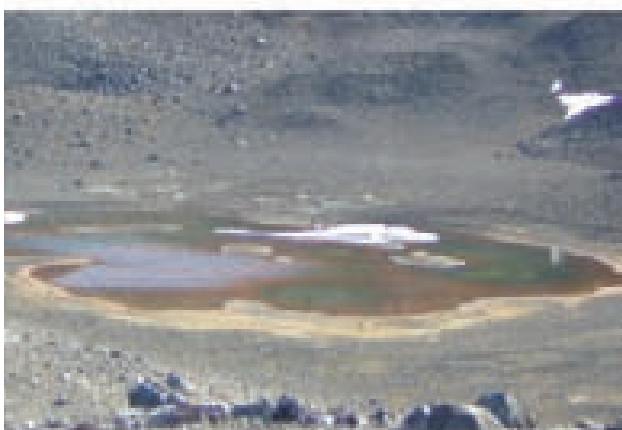


Fig. 4b - Il Lago 14 il 13 dicembre 2005.



Fig. 4c - Il Lago 14 il 03 gennaio /2007.

stagione utilizzando un campione di 120 nidi e in associazione ai metodi di censimento manuali (SC-CAMLR 2004) sono stati utilizzati sistemi di marcatura mediante *transponders* e di identificazione automatica. Al passaggio dell'individuo marcato il sistema di identificazione automatico a radiofrequenza, APMS (*Automated Penguin Monitoring System*: Kerry *et al.*, 1993), memorizza il tempo di permanenza nella colonia, la durata dei viaggi in mare e la quantità di cibo assunta (peso in entrata ed in uscita). L'APMS ha permesso così di raccogliere una grande

quantità di dati evitando di dover ricattare gli animali. Al fine di studiarne le strategie alimentari e gli spostamenti, alcuni individui sono stati dotati di *data loggers* (registratori di profondità) e di trasmettitori satellitari (per una descrizione dettagliata dei metodi si rimanda ad Olmastroni, 2002).

Quali risultati sono stati ottenuti

PALEOLIMNOLOGIA

Nel Lago 15 la concentrazione di ^{210}Pb totale aumentava dalla superficie fino a 3 cm di profondità, dopodiché diminuiva con andamento esponenziale per rimanere praticamente costante da 7,5 cm in giù. Le concentrazioni medie delle ultime tre sezioni, usate per calcolare il Pb supportato, erano molto basse indicando una piccola frazione minerale nel sedimento. La limitata profondità di penetrazione del ^{210}Pb non supportato insieme ai suoi bassi valori di attività in superficie (11,25 Bq/kg) indicavano un flusso basso da fonti esterne. Ciò è in accordo con una colonna d'acqua poco profonda (<1m) ed una prolungata copertura di ghiaccio che limita gli scambi con l'atmosfera. Il basso tasso di sedimentazione (0,039 cm/anno) e lo spessore di ogni sezione della carota implicano una risoluzione di 25 anni per ogni cm. La massima profondità di penetrazione dell'attività del ^{210}Pb non supportato (6 cm) e l'attività superficiale erano confrontabili nelle due carote e l'attività del ^{210}Pb totale presentava un massimo al cm 4 nella carota del Lago 14, dopo di che decresceva regolarmente fino al limite di 10,9 Bq/Kg al cm 9. Il tasso di sedimentazione nel Lago 14 è risultato di 0,033 cm/anno, indicando una risoluzione di 30 anni per ogni cm.

L'analisi dei pigmenti fossili ha rilevato che i sedimenti dei Lago 14 e Lago 15 contenevano una miscela di clorofille, carotenoidi, batterio-clorofille e scitonemine, con una diversità maggiore di tali composti nel Lago 14. In particolare, nel Lago 14 sono stati ritrovati diversi composti UV-fotoprotettivi, carotenoidi con uno spettro UV-Vis somigliante a quello della mixoxantofilla, scitonemine, carotenoidi indicatori di cianobatteri, luteina e chl *b*. Composti fotoprotettivi, scitonemine (indice di cianobatteri), fucoxantina (diatomee) e luteina (clorofite) a concentrazioni più elevate di quelle misurate nel Lago 14, oltre

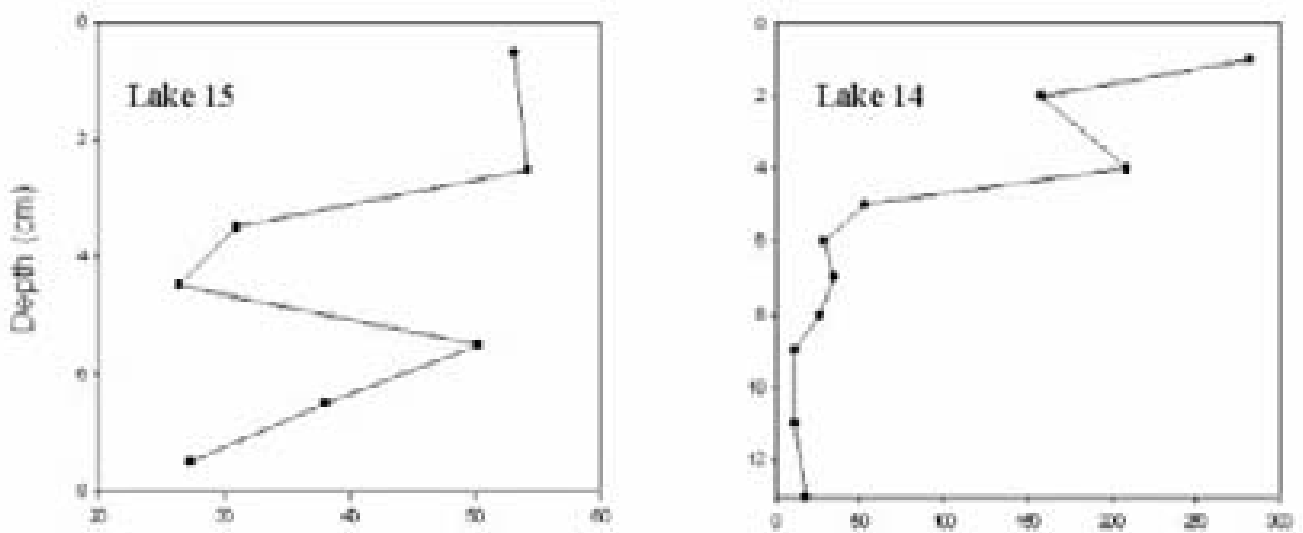


Fig. 5 - Somma della chl *a* e dei suoi derivati espressa in µg/g TOC lungo le carote di sedimenti.

alla chl *a* e *b* con i loro derivati, sono stati trovati nella carota del Lago 15. Le concentrazioni di chl *a* erano comparabili nelle due carote di sedimenti indicando una simile produttività primaria nei due laghi. La presenza di composti derivanti dalla chl *a* e *b* indica la presenza di organismi fotoautotrofi ossigenici al tempo della sedimentazione. La batteriofeofitina *a* è stata identificata nel Lago 14 e sebbene il suo precursore, la batterioclorofilla *a*, sia presente sia nei batteri fotosintetici purpurei sia nei batteri verdi sulfurei, studi precedenti ne hanno identificate quantità significative solo in presenza di batteri purpurei e quindi la sua presenza è interpretata come indicatore di questi organismi. Alcuni omologhi delle batteriofeofitine *c* e *d* sono stati identificati in entrambe le carote e potrebbero indicare lo sviluppo di condizioni anossiche nella zona fotica in una colonna d'acqua stratificata o nei feltri algali, come nelle carote della regione delle Larsemann Hills (Squier *et al.*, 2005). Allo stesso tempo, la presenza di chl *a* intatta indicava una bassa degradazione dei pigmenti in questi laghi (Squier *et al.*, 2004) in accordo con Squier *et al.*, (2002) per il lago Ried (Larsemann Hills). La presenza di idrossifeofitina *a* tra i prodotti di degradazione della chl *a* indica condizioni ossidanti nella colonna d'acqua (Hodgson *et al.*, 2006). L'abbondanza relativa dei pigmenti lungo il profilo stratigrafico mostrava alcuni cambiamenti. Una più alta produzione primaria, indicata dalla somma della chl *a* e dei suoi derivati, era evidente nei primi cm di entrambe le carote (Fig. 5), dove vi era anche una variazione nell'abbondanza relativa dei carotenoidi indicatori. Nella

carota del Lago 15 le clorofite (luteina e chl *b*) diminuivano all'aumentare della profondità mentre la fucoxantina mostrava i livelli più alti al cm 4, indicando un declino delle clorofite ed un aumento delle diatomee verso il basso della carota. Nel Lago 14 il profilo delle clorofite (luteina) era piuttosto costante lungo la carota, non erano presenti diatomee (tracce di fucoxantina sono state rinvenute solo nel primo cm) mentre i carotenoidi indicatori dei cianobatteri (cantaxantina, echinenone e zeaxantina) aumentavano tutti andando dagli strati più profondi a quelli superficiali della carota.

Negli ultimi decenni quindi, sembrerebbero essersi verificati cambiamenti tanto nella produttività primaria dei due laghi che nelle comunità fotoautotrofe presenti, con un aumento, soprattutto nel Lago 14, dei cianobatteri, notoriamente più resistenti al disseccamento, alle radiazioni UV e a variazioni di salinità: condizioni che caratterizzano la progressiva riduzione a cui è andato incontro il lago negli ultimi anni. L'aumento della produttività primaria potrebbe ricondursi a cambiamenti ambientali, locali e/o globali, i quali potrebbero aver aumentato la lunghezza del periodo di disgelo nella zona e la disponibilità d'acqua allo stato liquido favorendo quindi lo sviluppo degli organismi fotosintetici.

ECOLOGIA ANIMALE

La colonia di Pinguino di Adelia di Edmonson Point risulta esservi stanziata continuamente da circa 3.000 anni (Baroni & Orombelli, 1994a). Anche se non è stato possibile determinare il numero degli individui caratterizzanti via

via la storia della colonia, la presenza di numerosi resti alimentari (otoliti di pesce) nei suoli ornitogenici datati testimonia che durante i periodi riproduttivi essa era attivamente impegnata (Lorenzini *et al.*, 2009). Sopralluoghi fotografici condotti durante gli anni '80 Taylor & Wilson (1990) attestano una popolazione nidificante in crescita, in linea con quanto riscontrato anche per le altre aree del mare di Ross. Infatti il numero di coppie nidificanti è passato da 1.431 a 2.491 coppie dal 1981 al 1987 (Taylor & Wilson, 1990). Nel 1994, cioè all'inizio del programma di monitoraggio, il numero di coppie riproduttrici a Edmonson Point era diminuito rispetto alle precedenti stime, per aumentare di nuovo passando da 1.825 coppie a 2.452 dal 1994 al 2007 (Pezzo *et al.*, 2007). Durante questi anni il successo riproduttivo medio per questa colonia è stato di 0,9 pulli/nido con uova, ed è stato influenzato dai fattori climatici locali e regionali, dalla disponibilità delle risorse alimentari ed in parte anche dall'elevato rapporto (1:20) skua-pinguini (Olmastroni *et al.*, 2001, 2004^o, 2004b; Pezzo *et al.*, 2001), indicante un alto tasso di predazione di uova e pulli di pinguino. Durante la riproduzione i pinguini di Edmonson Point si sono alimentati essenzialmente di krill (*Euphausia superba* ed *E. crystallorophias*) e di pesce (*Pleuragramma antarcticum*) (Olmastroni *et al.*, 2004), percorrendo distanze variabili (30-170 km) nei differenti anni di studio (Olmastroni, 2000; 2002) ed immergendosi a profondità medie variabili (10-60 m) a seconda della stagione, della fase riproduttiva e della tipologia del ghiaccio marino presente (Nesti *et al.*, 2010).

Le fluttuazioni climatiche ad ampia scala dell'Oceano Meridionale, che si riflettono nelle variazioni di estensione e concentrazione del ghiaccio marino, sembrano avere un effetto sulla distribuzione (anche in epoche passate: Emslie *et al.*, 2007; Lorenzini *et al.*, 2009) e sulla dimensione delle popolazioni di Pinguino di Adelia, influenzando sia la distribuzione che la disponibilità delle prede in estate (ovvero durante il periodo riproduttivo) nonché, direttamente o indirettamente, la sopravvivenza di adulti e di giovani nelle aree di svernamento. Le variabili ambientali locali od a piccola scala, quali la disponibilità e l'accessibilità delle prede e le condizioni microclimatiche possono invece avere un

effetto diretto su uno o più parametri demografici (ad esempio, la sopravvivenza della prole) o sulle strategie di alimentazione degli adulti.

Ad Edmonson Point i fattori ambientali ad ampia scala sembrano maggiormente responsabili della sopravvivenza dei giovani (>1 anno) e degli adulti (Ballerini *et al.*, 2009), mentre il successo riproduttivo sembra essere variato principalmente in base alle variabili locali (Olmastroni *et al.*, 2000; Pezzo *et al.*, 2007). Le variazioni interannuali riscontrate nella popolazione nidificante di Edmonson Point durante l'ultimo ventennio potrebbero quindi essere dovute ad una ridotta sopravvivenza o ad una minore percentuale di riproduttori presenti. Infatti, come documentato per altre specie longeve, in condizioni ambientali stagionali particolarmente sfavorevoli gli adulti di Pinguino di Adelia potrebbero decidere di "saltare" la riproduzione (Ainley, 2002). Il successo riproduttivo nella colonia di Edmonson Point è stato invece particolarmente basso quando eventi stocastici locali o scarsa disponibilità di cibo si sono verificati durante le fasi più delicate del periodo riproduttivo (Olmastroni *et al.*, 2000, 2004).

Studiare e determinare la distribuzione e l'abbondanza delle popolazioni di pinguino sia recenti che passate può dunque contribuire ad una migliore conoscenza dell'evoluzione dell'ambiente antartico. Del resto, ormai da molti anni è stato riconosciuto che lo studio del comportamento di questi uccelli marini, in qualità di indicatori ambientali, costituisce un importante strumento di indagine per la conoscenza della evoluzione e dello stato di salute dell'attuale ecosistema antartico (Ainley, 2002; Arrigo *et al.*, 2002; Emslie *et al.*, 2007).

Testi citati

Ainley D.G. (2002) – *The Adélie penguin: bellwether of climate change*. Columbia University Press, New York.

Ainley D.G., Ballard G. & Olmastroni S. (2009) – *An apparent decrease in the prevalence of "Ross Sea Killer Whales" in the Southern Ross Sea*. *Aquatic Mammals*, 35 (3): 335-347.

Allende L. & Izaguirre I. (2003) – *The role of physical stability on the establishment of steady states in the phytoplankton community*

of two Maritime Antarctic lakes. *Hydrobiol.*, 502: 211-224.

Allende L. & Pizarro H. (2006) – *Top-down control on plankton components in an Antarctic pond: experimental approach to the study of low-competition food webs*. *Polar Biol.*, 29: 893-901.

Arrigo K.R., van Dijken G.L., Ainley D.G., Fahnestock M.A & Markus T. (2002) – *Ecological impact of a large Antarctic iceberg*. *Geophys. Res. Lett.*, 29: 1104.

Ballerini T., Tavecchia G., Olmastroni S., Pezzo F. & Focardi S. (2009) – *Nonlinear effects of winter sea ice on the survival probabilities of Adélie penguins*. *Oecologia*, 161: 253-265.

Bargagli R. (2005) – *Antarctic ecosystems. Environmental contamination, clifeltri algalie change and human impact*. *Ecological Studies* 175: 70-75.

Baroni, C. & Orombelli, G. (1994a) – *Abandoned penguin rookeries as Holocene paleoclimatic indicators in Antarctica*. *Geology*, 22: 23-26.

Baroni, C. & Orombelli, G. (1994b) – *Holocene glacier variations in the Terra Nova Bay area (Victoria Land, Antarctica)*. *Antarc. Sci.*, 6: 497-505.

Bonilla S., Villeneuve V. & Vincent W.F. (2005) – *Benthic and planktonic algal communities in a high Arctic lake: pigment structure and contrasting responses to nutrient enrichment*. *J. Phycol.*, 41: 1120-1130.

Borghini F. & Bargagli R. (2004) – *Changes of major ion concentration in melting snow and terrestrial waters from northern Victoria Land, Antarctica*. *Antarc. Sci.*, 16 (2): 107-115.

Borghini F., Colacevich A. & Bargagli R. (2007) – *Water geochemistry and sedimentary pigments in northern Victoria Land lakes, Antarctica*. *Polar Biol.*, 30: 1173-1182.

Butler E. (1999) – *Seasonal dynamics of the planktonic microbial community in a maritime Antarctic lake undergoing eutrophication*. *J. Plankton Res.*, 21: 2393-2419.

Camacho A. (2006) – *Planktonic microbial assemblages and the potential effects of metazooplankton predation on the food web of lakes from the maritime Antarctica and sub-Antarctica islands*. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 5: 167-185.

Caruso T. & Bargagli R. (2007) – *Assess-*

ing abundance and diversity patterns of soil microarthropod assemblages in northern Victoria Land (Antarctica). *Polar Biol.*, 30: 895-902.

Ellis-Evans J.C. (1996) – *Microbial diversity and function in Antarctic freshwaters ecosystems*. *Biodiversity Conserv.*, 5: 1395-1431.

Emslie S.D., Coats L. & Licht K. (2007) – *A 45,000 yr record of Adélie penguins and climate change in the Ross Sea, Antarctica*. *Geology*, 35: 61-64.

Frignani M., Langone L., Albertazzi S. & Ravaioli M (1993) – *Cronologia di sedimenti marini - Analisi di ²¹⁰Pb via ²¹⁰Po per spettrometria alfa*. IGM-CNR Tech Rep 28.

Guilizzoni P., Libera V., Tartari G., Mosello R., Ruggiu D., Manca M., Nocentini A., Contesini M., Panzani P. & Beltrami M. (1989) – *Indagine per una caratterizzazione limnologica di ambienti lacustri antartici*. In: Battaglia B., Bisol P.M. & Varotto V. (eds), *Atti del I Convegno di Biologia Antartica*, 377-408. Edizioni Universitarie Patavine.

Hall B.L., Hoelzel A.R., Baroni C., Denton G.H., Le Boeuf B.J., Overturf B. & Töpf A.L. (2006) – *Holocene elephant seal distribution implies warmer-than-present climate in the Ross Sea*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 103: 10213-10217.

Hodgson D.A., Roberts D., McMinn A., Verleyen E., Terry B., Corbett C. & Vyverman W. (2006) – *Recent rapid salinity rise in three East Antarctic lakes*. *J. Paleolimnol.*, 36 (4): 385-406.

Izaguirre I., Vincour A., Mataloni G. & Pose M. (1998) – *Phytoplankton communities in relation to trophic status from Hope Bay (Antarctica Peninsula)*. *Hydrobiologia*, 369/370: 73-87.

Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C. & Wright S.W. (1997) – *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. In: Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C. & Wright S.W. (eds), *Phytoplankton pigments in oceanography: Guidelines to modern methods*, 19-36, UNESCO, Parigi,.

Kennedy A.D. (1993) – *Water as a limiting factor in the Antarctic terrestrial environment: A biogeographical synthesis*. *Arctic Alpine Res.*, 25: 308-315.

Kerry K.R., Clarke J.R. & Else G.D. (1993)

- *The use of an automated weighing and recording system for the study of the biology of Adélie penguins (Pygoscelis adeliae)*. In: NIPR Symposium on Polar Biology, 62-75. Tokyo.
- Laybourn-Parry J., Quayle W.C. & Henshaw T. (2002) – *The biology and evolution of Antarctic saline lakes in relation to salinity and trophic*. Polar Biol., 25: 542-552.
- Leavitt P.R. & Hodgson D.A. (2001) – *Sedimentary pigments*. In: Smol J.P., Birks H.J.B. & Birks W.M. (eds), *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial algal and siliceous indicators*. Dordrecht.
- Lorenzini, S., Olmastroni S., Pezzo F., Salvatore M. & C. Baroni. (2009) – *Holocene Adélie penguin diet in Victoria Land, Antarctica*. Polar Biol., 32: 1077-1086.
- Nesti I., Ropert-Coudert Y., Kato A., Beau- lieu M., Focardi S. & Olmastroni S. (2010) – *Diving behaviour of chick-rearing Adélie Penguins at Edmonson Point, Ross Sea*. Polar Biol., 33: 969-978.
- Olmastroni S., Pezzo F., Bisogno I. & Focardi S. (2004a) – *Interannual variation in the summer diet of Adélie Penguin (Pygoscelis adeliae) at Edmonson Point*. CCAMLR Working Group on Ecosystem Monitoring and Management, WG-EMM 04/38 Siena 12-23 July 2004.
- Olmastroni S., Corsolini S., Pezzo F., Focardi S. & Kerry K., (2000) – *The first five years of Italian-Australian joint programme on the Adélie penguin: an overview*. It. J. Zool., 67: 141-145.
- Olmastroni S. (2002) – *Factors affecting the foraging strategies of Adélie penguin (Pygoscelis adeliae) at Edmonson Point, Ross Sea, Antarctica*. PhD Thesis, Università degli Studi di Siena.
- Olmastroni S., Pezzo F., Volpi V. & Focardi S. (2004b) – *Effects of weather and sea-ice on the reproductive performance of the Adélie penguins at Edmonson Point, Ross Sea*. CCAMLR Sci., 11: 99-109.
- Pezzo F., Olmastroni S., Corsolini S. & Focardi S. (2001) – *Factors affecting the breeding success of the south polar skua Catharacta maccormicki at Edmonson Point, Victoria Land, Antarctica*. Polar Biol.: 389-393.
- Pezzo F., Olmastroni S., Volpi V. & Focardi S. (2007) – *Annual variation in reproductive parameters of Adélie penguins at Edmonson Point, Victoria Land, Antarctica*. Polar Biol. 24, 31:39-45.
- Pickney J.L., Millie D.F., Howe K.E., Pearl H.W. & Hurley J.P. (1996) – *Flow of microalgal photosynthetic pigments*. J. Plankton Res., 18: 1867-1880.
- Sabbe K., Hodgson D.A., Verleyen E., Taton A., Wilmotte A., Vanhoutte K. & Vyverman W. (2004) – *Salinity, depth and the structure and composition of microbial pelagic algal communities in continental Antarctic lakes*. Freshw. Biol., 49: 296-319.
- SC-CCAMLR (2004) – *CCAMLR Ecosystem Monitoring Program: Standard Methods for Monitoring Studies*. CCAMLR, Hobart.
- Simmons G.M.J., Vestal J.R. & Wharton R.A.J. (1993). *Environmental regulators of microbial activity in continental Antarctic lakes*. In: Friedmann E. (ed), *Antarctic microbiology*, 491-541, Wiley-Liss, New York.
- Squier A.H., Hodgson D.A. & Keely B.J. (2002) – *Sedimentary pigments as markers for environmental change in an Antarctic lake*. Org. Geochem., 33: 1655-1665.
- Squier A.H., Hodgson D.A. & Keely B.J. (2004) – *Structures and profiles of novel sulfur-linked chlorophyll derivatives in an Antarctic lake sediment*. Org. Geochem., 35: 1309-1318.
- Squier A.H., Hodgson D.A. & Keely B.J. (2005) – *Evidence of late Quaternary environmental change in a continental East Antarctic lake from lacustrine sedimentary pigment distributions*. Antarct. Sci, 17: 361-376.
- Taylor R.H., Wilson P.R. & Thomas B.W. (1990) – *Status and trends of Adélie penguin populations in the Ross Sea region*. Polar Record, 26: 293-304.
- Vincent W.F. (1988) – *Microbial ecosystems in Antarctica*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Woehler E.J. (1993) – *The distribution and abundance of antarctic and subantarctic penguins*. SCAR, University Printing Service, Cambridge.

Il punto della situazione

Il punto della situazione



Farfalla del Corbezzolo, *Charaxes jasius* Linnaeus, 1767
Foto "Il Graffio", Follonica

Geobiologia ed eventi catastrofici. Falsità dell'assioma “*Natura non facit saltus*”

Roberto Fondi

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

Fino all'intera prima metà dell'Ottocento, il pensiero scientifico e religioso occidentale ha dipinto il nostro mondo o come una sorta di giardino stabile e tranquillo in cui tutto evolve per il meglio in maniera lenta e graduale, oppure come un luogo instabile e tumultuoso in cui eventi catastrofici improvvisi minacciano continuamente di cancellare la nostra specie dalla faccia della Terra. Poi, per la seconda metà dell'Ottocento ed almeno i quattro quinti del Novecento, il mondo scientifico ha preteso di esorcizzare ogni fattore che potesse presentarsi come una minaccia per la biosfera. Qualsiasi dibattito concernente eventi catastrofici nella storia della Terra è stato considerato sinonimo di pseudoscienza, ossia quel miscuglio di superstizione ed esagerazione privo di reale base scientifica che pure affascina tanta gente e di cui la dottrina cosmo-glaciale di Hanns Hörbiger e le opere di Immanuel Velikovsky sono stati indimenticabili e suggestivi esempi.

A partire dagli anni '80 del Novecento, comunque, fra gli scienziati di molte discipline è subentrata una crescente consapevolezza del fatto che l'universo è molto meno costante e tranquillo di quanto era stato precedentemente immaginato; tanto che oggi non sussiste più alcun dubbio che forze improvvise, immense e spesso imprevedibili – insomma: catastrofiche – siano all'origine delle stelle e dei pianeti. Benché la Terra sia stata interessata da tali forze molto più al tempo della sua formazione che non in seguito, pure la minaccia di catastrofi dovute a fattori di natura cosmica rimane per essa un'inquietante e permanente spada di Damocle. In effetti, la civiltà così come la conosciamo potrebbe essere radicalmente modificata o addirittura condannata a scomparire nell'arco stesso della nostra vita o di quella dei nostri nipoti a causa della caduta di una cometa o un asteroide, oppure di nubi di plasma radioattivo dovute ad esplosioni nel nucleo della galassia, in stelle supernove non lontane dal Sole o semplicemente nella cromosfera di quest'ultimo.

È ovvio che la consapevolezza della precarietà delle nostre civiltà, così come quella delle nostre vite individuali, non può minimamente esimere noi esseri umani dalla responsabilità di non abbattersi e di non cessare di impegnare ogni sforzo individuale e collettivo per la realizzazione di ordinamenti sociali improntati il più possibile alla dignità, alla giustizia ed alla stabilità. Comunque sia, i tempi sono ormai più che maturi per sostituire a quella uniformitarista dell'evoluzione geobiologica una scena più ampia ed adeguata, nella quale gli eventi catastrofici figurano come attori dal ruolo tutt'altro che secondario e saltuario.

L'assioma di Leibniz

L'espressione “*Natura non facit saltus*”, utilizzata da Linneo nella sua *Philosophia botanica* (1751), ripeteva in latino la frase “*La nature ne fait jamais des sauts*” posta da Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) nella prefazione ai suoi *Nouveaux essais sur l'entendement humain* (1703). Con quella frase, il matematico e filosofo tedesco voleva esprimere l'idea assiomatica secondo cui la peculiarità delle cose naturali è quella di cambiare non in modo improvviso,

bensì in modo graduale. Leibniz credeva che il Grande Dio dell'Universo avesse concepito e creato il migliore dei mondi possibili non soltanto per il nostro beneficio, ma più specificamente per il nostro agio o benessere; pertanto, dei tre modi comuni di morire inerenti agli organismi viventi – per limiti di età a causa del sistema riproduttivo sessuale; per accidente (artificiale o naturale: guerra, terremoto, inondazione, eruzione vulcanica, ecc.), malattia o predazione connessa all'organizzazione della biosfera in catene nutritive; per evento catastrofico su scala



Fig. 1 - L'astronomo reale inglese Edmond Halley (1656-1742). Disegno dell'autore.

globale –, egli ritenne di poter esorcizzare il terzo rimuovendolo dal pensiero occidentale.

In realtà l'assioma di Leibniz non faceva che riflettere il modo di pensare di numerosi esponenti del mondo culturale del suo tempo, con in primo piano il co-inventore assieme a lui del calcolo infinitesimale: Isaac Newton (1643-1727). E ciò è confermato anche dal modo in cui il padre fondatore della fisica classica reagì alle discussioni relative alla possibilità per la Terra di subire eventi catastrofici. Nel dicembre del 1694 l'astronomo Edmond Halley (1656-1742) (Fig. 1) aveva prospettato alla Royal Society, evitando però di pubblicarla per non incorrere nella censura ecclesiastica, la tesi che il diluvio biblico potesse essere stato causato dall'avvicinarsi di una cometa. Appena un anno e mezzo dopo, questa tesi fu affrontata e sviluppata con lucidità e spregiudicatezza nell'opera *A New Theory of the Earth from its Original to the Consummation of All Things* (Fig. 2) dal giovane e dotto teologo William Whiston (1667-1752) (Fig. 3), succeduto a Newton nella cattedra di Cambridge. E la cosa non terminò lì. Nel 1705 Halley espose nella sua *Synopsis Astronomia Cometicæ* il convincimento che gli avvistamenti cometari del 1456, 1531, 1607 e 1682, verificatisi in maniera periodica ogni 75-76 anni, si riferissero al medesimo corpo celeste, per cui se ne poteva prevedere il ritorno nel 1758; e quando ciò accadde effettivamente, quel corpo celeste divenne universalmente noto come Cometa di Halley.

Come si comportò Newton di fronte a queste dispute? Sebbene pienamente consapevole della validità delle argomentazioni di Whiston, egli non trattò mai pubblicamente della questione. L'eventualità di catastrofi da impatti cometari non rientrava nella sua immagine di universo dai meccanismi precisi e predeterminati come quelli di un orologio; d'altra parte, il fatto che i successivi e periodici passaggi della Cometa di Halley non avessero mai prodotto alcun sensibile effetto sull'orbita terrestre voleva dire che le comete erano molto più piccole ed inconsistenti dei pianeti e perciò da considerarsi non pericolose. E questa posizione acquistò ampia accettazione e diffusione: tanto che William Herschel (1738-1822) arriverà a sostenere che le comete svolgano addirittura un ruolo utile nell'universo, viaggiando negli spazi interstellari ed apportandovi con le loro code composti chimici utili alla vita delle stelle e dei pianeti.

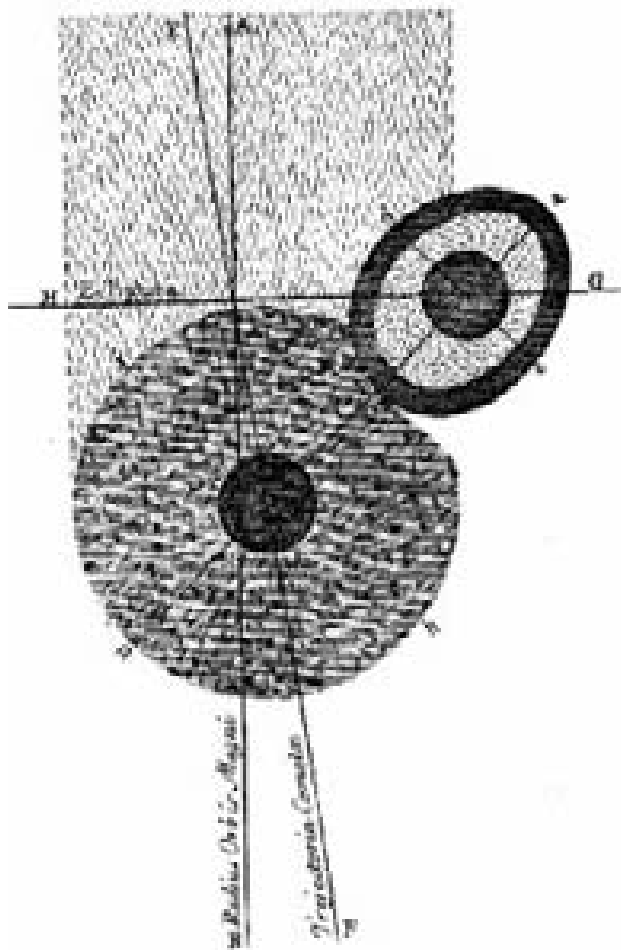


Fig. 2 - Figura tratta dall'opera *New Theory of the Earth* (1696) di Whiston, ad illustrazione della causa naturale del diluvio biblico. Una cometa passa in prossimità della Terra lungo la linea EF, facendo assumere alla Terra (adbc) una forma ovale a causa della sua forza di attrazione. La crosta terrestre si frattura permettendo la fuoriuscita delle "acque sotterranee", le quali si uniscono alle piogge torrenziali causate dai vapori della coda cometaria.



Fig. 3 - Il cattedratico William Whiston (1667–1752), successore di Newton a Cambridge.

Tramite Newton, quindi, l'assioma di Leibniz fece da fondamento ad una visione cosmologica improntata alla continuità, alla gradualità e ad una permanente stabilità. Ed allo sviluppo di questa visione contribuiranno in maniera determinante naturalisti di grande levatura quali James Hutton (1726-1789), Erasmus Darwin (1731-1802) e Jean-Baptiste Monet de Lamarck (1744-1829), padri fondatori il primo della geologia uniformitarista (o uniformitarianista) e gli altri due della biologia evoluzionistica.

Va in ogni caso respinta qualsiasi necessaria connessione tra l'uniformitarismo e la convinzione dell'immensa durata dei tempi geologici, in quanto nella storia della cultura non vi è alcuna base che giustifichi una tale connessione. L'adagio di Hutton relativo all'immensità del tempo geologico "nessun segno di un inizio, nessuna prospettiva di una fine", abbondantemente citato nei testi di geologia, era stato in realtà formulato già un secolo e mezzo prima dal nobiluomo calvinista Isaac de La Peyrère (1596-1676), il quale lo collegava alla sua concezione delle ripetute distruzioni e nuove creazioni: concezione che, con ogni probabilità, era stata da lui ripresa dalla tradizione ebraica facente capo al rabbino Abahu di Cesarea, di epoca talmudica, e perpetuata dai rabbini medioevali Isaac di Akko e Rashi di Troyes. D'altra parte, una frase molto simile a quella di Hutton, "senza inizio né fine" (ἀναρχος καὶ

ατελευτητος), era stata usata addirittura nel V secolo a.C. dal pitagorico Ocello Lucano. Va dunque sottolineato che mentre la secolare opposizione dei fondamentalisti cristiani (sia cattolici che protestanti) nei confronti dell'immensa durata dei tempi geologici era legata alla loro interpretazione letterale della Bibbia, la tradizione ebraica – dotata di una base scritturale-sacrale molto più ampia – non aveva alcun problema nell'accettare tale durata. Come pure non ne avevano le tradizioni Indù, Maya, Maori ed innumerevoli altre. In Europa, l'insostenibilmente corta scala temporale cristiana cominciò ad essere abbandonata già durante il XVIII secolo non soltanto dagli uniformitaristi, ma anche dai catastrofisti.

L'opposizione di Cuvier

In contrapposizione con l'assioma di Leibniz e con le tesi di Hutton e Lamarck si ergevano inesorabili i *Discours sur les révolutions de la surface du globe* (1825) di Georges Dagobert de Cuvier (1769-1832), pietra miliare della storia della scienza. In quest'opera fondamentale, basata su un'accurata conoscenza della successione dei livelli fossiliferi del Bacino di Parigi, il padre fondatore dell'anatomia comparata e della paleontologia (Fig. 4) affermava:



Fig. 4 - Georges Dagobert de Cuvier (1769–1832), padre della paleontologia moderna e dell'anatomia comparata. Disegno dell'autore.

- che nel passato la superficie terrestre era stata popolata da forme animali differenti dalle attuali (prima dimostrazione scientifica della realtà dell'evoluzione biologica);
- che il corso della storia della vita era segnato da repentini eventi catastrofici globali o locali;
- che la successione nel tempo delle forme animali mostrava effettivamente un incremento di complessità (prima i "quadrupedi ovipari", cioè gli anfibi e i rettili, e poi i "quadrupedi vivipari", cioè gli uccelli e i mammiferi), ma che risultava impossibile interpretarla alla maniera di Lamarck, cioè come una scala di trasformazioni sfumanti insensibilmente le une nelle altre (inadeguatezza del paradigma trasformista, o evuzionistico, nella spiegazione dell'evoluzione biologica);
- che del resto tale situazione era del tutto corrispondente a quella del giorno d'oggi, in cui l'esame e la comparazione tra le forme animali finiva sistematicamente per ricondurre queste ultime ad un numero ben definito di piani strutturali o archetipi nettamente separati fra loro (gli attuali tipi o phyla);
- che infine, per quanto si poteva osservare dalle raffigurazioni e dalle mummificazioni di molte specie animali effettuate dagli antichi Egizi, nell'arco di millenni tali specie non mostravano il benché minimo cambiamento (stabilità nel tempo delle specie viventi).

Poiché Cuvier continua ad essere presentato non di rado come un retrivo e reazionario "creazionista", è importante ricordare quanto egli scriveva (nel capitolo "Les espèces perdues ne sont pas des variétés des espèces vivants" dell'opera sopra citata) circa i cambiamenti di configurazione dei gruppi di viventi nel corso del tempo.

"Quando sostengo che i banchi di roccia contengono le ossa di vari generi e gli strati di sedimento sovrastanti quelle di varie specie non più esistenti, *io non pretendo che vi sia stata una creazione nuova per produrre le specie oggi esistenti; dico solamente che queste non esistevano nei luoghi in cui attualmente si osservano, e che perciò sono dovute venire da altrove* (corsivo mio, n.d.r.).

Supponiamo, ad esempio, che una grande irruzione del mare copra d'un ammasso di sabbie o altri detriti il continente della Nuova Olanda (l'Australia, n.d.r.). In tal modo, essa vi seppellirà i cadaveri dei canguri, dei phascolomi, dei dasiuri, dei perameles, dei falangeri volanti, delle echidne

e degli ornitorinchi, e distruggerà interamente le specie di tutti questi generi, dal momento che nessuno di essi esiste ora in altri paesi.

Supponiamo poi che questa stessa rivoluzione faccia emergere i piccoli e molteplici distretti che separano la Nuova Olanda dal continente dell'Asia. In tal caso, essa aprirà un cammino agli elefanti, ai rinoceronti, ai bufali, ai cavalli, ai cammelli, alle tigri e a tutti gli altri quadrupedi asiatici, i quali verrebbero così a popolare una terra dove in precedenza erano sconosciuti.

Supponiamo infine che un naturalista, dopo avere ben studiato tutta questa natura vivente, si azzardi a scavare il suolo sul quale vive. Vi troverà resti di esseri completamente differenti.

Ciò che sarebbe la Nuova Olanda nella supposizione che veniamo a fare, lo sono effettivamente l'Europa, la Siberia e gran parte dell'America; e forse un giorno, quando saranno esaminate le altre contrade e la Nuova Olanda medesima, si troverà che esse hanno tutte attraversato rivoluzioni simili, vale a dire scambi mutui di produzioni; perché, spingiamo più avanti la supposizione, se dopo questo trasporto di animali asiatici nella Nuova Olanda ammettiamo una seconda rivoluzione che distrugga l'Asia, loro patria primitiva, coloro che li osservassero nella Nuova Olanda, loro seconda patria, sarebbero tutti imbarazzati di sapere da dove siano venuti, allo stesso modo in cui noi lo siamo attualmente per quanto concerne l'origine dei nostri."

Secondo Cuvier, di più la scienza non poteva dire. Tutto il gran parlare di una Terra primigenia dominata dall'acqua (nettunisti) o dal fuoco (plutonisti), di forme di vita generatesi nelle acque ed adattatesi successivamente ai diversi mutamenti della superficie del globo (trasformisti), erano solo fantasie o, per meglio dire, "romanzi filosofici" che, senza troppo profitto sul piano della conoscenza scientifica, erano fino ad allora serviti soltanto ad affascinare ed intrattenere il pubblico colto meno esigente.

Da allora ad oggi, la paleontologia ha offerto alle scienze naturali un contributo di informazioni enorme ed in continuo arricchimento, grazie al quale è stato possibile, costruendo pazientemente sulle fondamenta del vero criterio metodologico attualista (da non confondere, cioè, con quello uniformitarista) e dei principii della stratigrafia, delineare un quadro fedelmente rappresentativo e sempre più dettagliato della storia della vita sulla Terra. Un quadro che, sostanzialmente, non ha fatto altro



Fig. 5 - Il fisico-meteorologo e geologo svizzero Jean-André De Luc (1727–1817), figura tuttora poco conosciuta fra gli stessi storici della scienza.

che confermare quanto Cuvier aveva asserito.

Per contro, l'unica tesi di Cuvier rivelatasi errata (ma sarebbe assurdo fargliene una colpa, considerando che lo studio delle successioni sedimentarie era ai suoi tempi appena agli inizi, e in ogni caso per merito suo) è quella delle sostituzioni di faune giunte ad estinzione da parte di nuove faune "venute da altrove". In realtà, le nuove faune non sono mai "venute da altrove" (non erano, cioè, coeve a quelle estinte ma ubicate in aree geografiche differenti), bensì sono sempre comparse *ex novo*, in una maniera che – piaccia o non piaccia – rimane tuttora avvolta nel mistero.

Una geobiologia stile Biedermeier

Malgrado l'opera di Cuvier ed i suoi successivi e straordinari sviluppi, per più di un secolo – dal 1860 al 1980 – l'assioma di Leibniz si è radicato nel mondo della cultura uniformandosi allo stile Biedermeier (da *bieder* – "semplice", "sempliciotto", ma anche "integro", "onesto" – e *Meier*, uno dei cognomi tedeschi più comuni, come Rossi in Italia), ovvero adattandosi alla *forma mentis* del cittadino piccolo-borghese apolitico, conservatore ed interessato solo alla propria vita familiare. Com'è noto, lo stile Biedermeier si impose quale contrapposizione al cosiddetto stile Impero nel periodo immediatamente successivo al Congresso

di Vienna, del quale riprendeva il deciso desiderio di restaurata "normalità". Lo scopo che si prefiggeva il nuovo stile, infatti, era quello di valorizzare la sobrietà e l'armonia riprendendo parte dei motivi stilistici dal periodo precedente, però spogliandoli di tutti gli orpelli e gli eccessi che lo avevano caratterizzato. Tutto ciò era coerente con la situazione socio-politica del momento, che cercava di gettarsi dietro le spalle e dimenticare gli anni tragici e tumultuosi della Rivoluzione Francese e del successivo Impero Napoleonico, per aprirsi ed andare incontro ai progressi della rivoluzione industriale con i suoi prodotti di facile fabbricazione ed ampia commercializzazione, cioè al medesimo tempo funzionali e dalle linee semplici.

Nella geologia e nella biologia, lo stile Biedermeier trovò compiuta espressione rispettivamente nell'approccio uniformitarista di Charles Lyell (1797-1875) ed in quello evoluzionista di Charles Darwin (1809-1882), con il secondo saldamente impostato sul primo. Lyell affermava che soltanto il presente poteva e doveva essere la chiave di lettura per il passato; e siccome era per lui scontato che nel presente la Terra era modellata *solo ed unicamente* da processi lenti ed agenti per tempi lunghissimi, doveva reputarsi anti-scientifico cercare di spiegare i fenomeni geobiologici del passato ipotizzando eventi catastrofici per i quali nel presente non esisteva alcun riscontro. Se tali fenomeni risultano assai pronunciati, ciò è dovuto all'accumularsi, in tempi assai lunghi, di tanti piccoli eventi di erosione, sedimentazione, sismicità, vulcanismo e così via. Quanto all'evoluzionismo di Darwin, esso non fece altro che ricalcare l'approccio di Lyell per applicarlo al mondo vivente: le specie non emergono all'esistenza in modo improvviso, ma derivano dalla trasformazione graduale di specie precedenti, la quale si realizza tramite minuti cambiamenti preservati dalla selezione naturale.

Al di fuori delle scienze naturali, l'assioma di Leibniz venne altresì adottato da Alfred Marshall (1842-1924) come epigrafe per i suoi *Principles of Economics*. Ammiratore di Darwin e di Spencer, Marshall intendeva così proclamare la sua adesione al pensiero evoluzionista e giustificare la conoscenza e l'utilizzo del calcolo differenziale come strumento analitico indispensabile, a suo modo di vedere, per la soluzione di qualsiasi problema di carattere economico.

In geologia l'approccio ottocentesco antagonista a quello uniformitario, ovvero quello che soste-

neva il ripetuto verificarsi di eventi catastrofici seguiti da nuove creazioni di forme viventi, è stato attribuito sempre e regolarmente a Cuvier; ma questi, come si è visto, non ha mai sostenuto nulla del genere. In realtà, un tale approccio deve essere attribuito ai suoi contemporanei Jean-André De Luc (1727-1817), scienziato svizzero grande avversario di Hutton (Fig. 5), e Alcide Dessalines d'Orbigny (1802-1857) (Fig. 6). Va anzi sottolineato con enfasi che *la visione moderna della storia terrestre non si discosta affatto, nel suo disegno generale, da quella di De Luc e di d'Orbigny: la sola differenza risiede unicamente nel fatto che, anziché distruzioni complete seguite da nuove creazioni, oggi si preferisce postulare distruzioni parziali seguite da rapidissima modificazione (implicante un'intera molteplicità di cladogenesi o ramificazioni diversificatrici) delle specie sopravvissute. Ora, non è affatto detto che concepire le cose in questo modo significhi averne dato la spiegazione corretta e definitiva; comunque sia, nel moderno modello di evoluzione geobiologica il breve intervallo di tempo compreso tra gli eventi di estinzione e di successiva diversificazione sarebbe caratterizzato prima da scarsità di specie e di individui, poi da scarsità di specie con abbondanza di individui, cioè dall'esplosione*



Fig. 6 - Alcide Dessalines d'Orbigny (1802–1857).

demografica di un numero limitato di popolazioni: come l'esplosione del rettile continentale *Lystrosaurus* dopo l'estinzione in massa del Paleozoico terminale; come l'esplosione dei mammiferi ungulati dopo l'estinzione in massa del Mesozoico terminale; come l'esplosione della nostra specie dopo l'estinzione in massa del Pleistocene terminale: esplosione in virtù della quale viene subito spontaneo porsi il problema se considerarci un successo evolutivo o una mera "specie pioniera post-catastrofe".

In ogni caso, prima di poter registrare le prime crepe nell'edificio della geobiologia stile *Biedermeier*, è necessario arrivare alla scoperta degli astroblemi ed ai primi anni della seconda metà del secolo scorso.

I pionieri del nuovo approccio e la ricerca degli astroblemi terrestri

Seppure con influenza culturale limitata in quanto costretti a pubblicare a proprie spese le loro argomentazioni (il che la dice lunga sui rigidi paraocchi nei confronti di questi temi da parte degli ambienti accademici di quel tempo), i primi esponenti del nuovo paradigma interpretativo delle scienze della Terra furono i geologi Alan O. Kelly e Frank Dacheille nel 1953 con *Target: Earth* (Fig. 7). Il libro, partendo dalla fede allora diffusa che i continenti non si muovevano (la teoria della deriva dei continenti di Alfred Wegener era considerata inadeguata dal punto di vista geofisico, e quella della tettonica a placche non era stata ancora formulata), cercava di riunire le prove di bruschi spostamenti dell'asse terrestre verificantisi più o meno ogni milione d'anni a causa di impatti da comete e asteroidi.

Occorre però che trascorrono altri tre anni per trovare nella letteratura accademico-scientifica



Fig. 7 - Copertina dell'opera pionieristica di Kelly e Dacheille, pubblicata in edizione privata nel 1953.

ufficiale, per la prima volta nel secolo XX, uno scritto nel quale si proponeva che le grandi estinzioni in massa della storia terrestre potessero essere state causate da cadute di corpi celesti. Lo scritto in questione, pubblicato nel *Journal of Paleontology* del 1956, era di M.W. de Laubenfels ed insisteva particolarmente sull'importanza di eventi quali il forte e pericoloso avvicinamento al nostro pianeta nel 1937 dell'asteroide binario Hermes (due corpi di circa 300 m di diametro ciascuno e distanti circa un km fra loro) (Fig. 8) e quali gli effetti devastanti prodotti dall'oggetto extraterrestre, peraltro di limitate dimensioni, che nel 1908 esplose con grande violenza sulla foresta a conifere (*taiga*) della Tunguska siberiana (Fig. 9). “Se quest'area fosse stata negli Stati Uniti”, scriveva de Laubenfels, “gli scienziati americani sarebbero rimasti impressionati e non avrebbero considerato il pericolo da impatto come irrazionale, un'assunzione che oggi è comune”.

Due anni dopo, l'astrofisico estone Ernst J. Öpik proponeva nell'*Irish Astronomical Journal* la tesi per la quale, a parte i loro effetti letali sulla biosfera, le cadute di corpi celesti di dimensioni sufficientemente grandi avrebbero potuto lacerare la crosta continentale fino al punto di provocare fuoriuscite di lava basaltica di grandi spessori ed estensioni come i “trappi” del Deccan indiano, della Siberia e del bacino del Columbia nel Nord-america orientale; per cui il supervulcanismo quale causa di estinzione potrebbe essere visto più come la conseguenza di un evento d'impatto, che come una spiegazione alternativa ad esso.

Si giunge così al 1964 con la pubblicazione di *Bombarded Earth (An Essay on the Geological and Biological Effects of huge Meteorite Impacts)*



Fig. 9 - Due foto scattate dalla prima spedizione scientifica russa sul sito dell'area di *taiga* siberiana della Tunguska Pietrosa ove 19 anni prima, il 30 giugno 1908, aveva avuto luogo la violenta esplosione di un corpo celeste. Tutti i grossi alberi dell'area erano stati carbonizzati dall'onda termica e spianati al suolo dall'onda d'urto; e poiché l'esplosione era avvenuta in aria, i danni più gravi erano stati subiti dai fianchi esposti dei rilievi collinari. Al contrario, gli alberi che si trovavano al di sotto del punto di esplosione erano rimasti carbonizzati in posizione verticale.

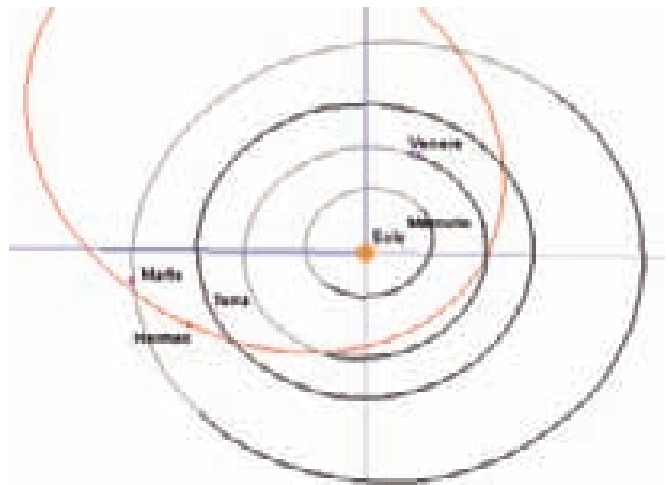


Fig. 8 - Orbita percorsa dall'asteroide binario Hermes nel 1937.

di René Gallant, libro che riprendeva, aggiornava ed approfondiva le argomentazioni di Kelly e Dachille e si valeva di una presentazione dell'Accademico di Francia Theodore Monod. Quest'ultimo avrebbe poi collaborato nel 1972, con un capitolo dedicato agli astroblemi, alla realizzazione del XXXI volume, dedicato alla geologia e curato da Jean Goguel, della *Encyclopédie de la Pléiade* edita a Parigi da Gallimard.

Gli astroblemi (dal greco: “ferite stellari”) sono crateri da impatto meteoritico o da cometa-asteroide. Quando puntiamo i telescopi sulla Luna o quando osserviamo le foto trasmesseci dalle sonde che finora sono state inviate nel sistema solare per osservarne meglio i pianeti, i satelliti e le comete, è sistematico constatare come le superfici di tali corpi celesti si presentino fittamente butterate da astroblemi. E la Terra? Vale la stessa cosa anche per la Terra? A prima vista sembrerebbe di no, in quanto nel corso del tempo gli astroblemi presenti sulla sua superficie sono stati distrutti dagli agenti



atmosferici e dal dinamismo della tettonica a placche. Ma anche la Terra ha il suo nutrito corredo di crateri da impatto: circa 180 quelli finora confermati, secondo il sito web *Earth Impact Database*

(Fig. 10). Nelle fotografie aeree o satellitari molti di questi crateri sono difficilmente distinguibili, o perché successivamente riempiti da sedimenti, o perché i loro bordi sono stati erosi, o per via del

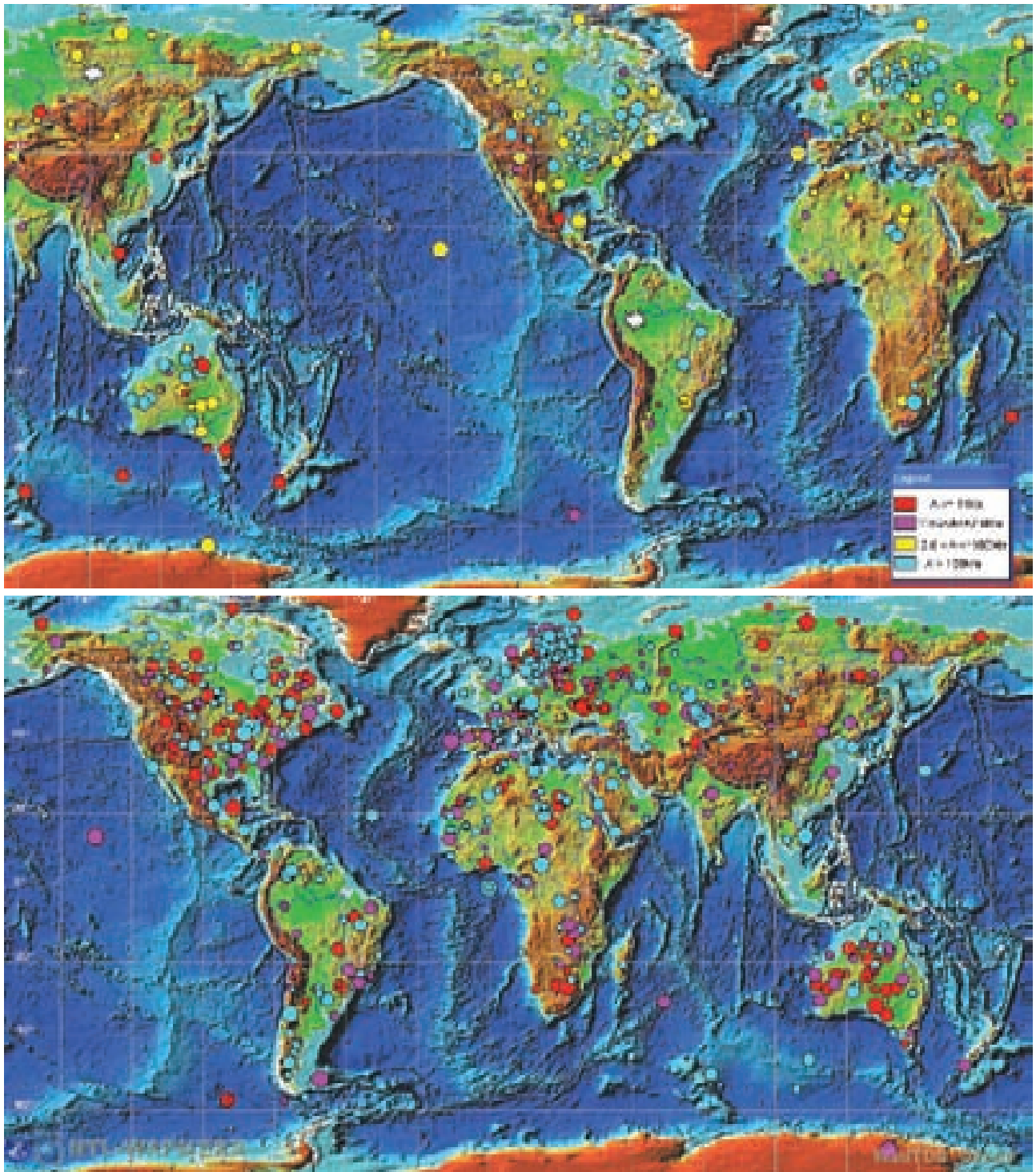


Fig. 10 - In alto: carta degli astroblemi a tutt'oggi confermati sulla superficie dei continenti (180 strutture) e sul fondo degli oceani (24 strutture). La dimensione dei cerchi è proporzionale al loro diametro, mentre il colore indica le loro età di formazione suddivise in quattro classi. Le stelle bianche contrassegnano gli epicentri delle due maggiori esplosioni avvenute nell'atmosfera durante il secolo scorso: Tunguska (1908) e Brasiile (1930). La densità degli impatti sui continenti riflette la qualità dei rilevamenti geologici dei territori, piuttosto che la reale distribuzione spaziale degli astroblemi. Da tenere presente che 16 dei 24 crateri oceanici conosciuti sono stati scoperti nell'arco di soli 2 anni (2005-2006) dopo che è iniziata una ricerca sistematica degli astroblemi sottomarini (Fonte: Expert Database on the Earth Impact Structures (EDEIS), Tsunami Laboratory, ICMMG SD RAS, Novosibirsk, 2006). In basso: carta degli astroblemi confermati (in rosso), di quelli in corso di verifica (in magenta) e di quelli proposti per studi futuri (in blu). Anche qui, la dimensione dei cerchi è proporzionale al diametro degli astroblemi. Nel complesso si raggiunge una cifra di circa 800 strutture (fonti: http://tsun.sscc.ru/hiwg/PIC/DATA/impacts_map_s e <http://tsun.sscc.ru/hiwg/data.htm>).

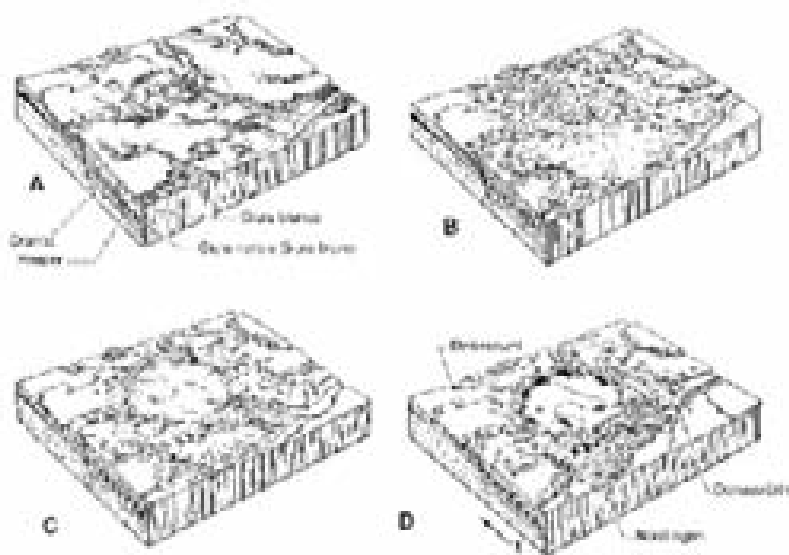
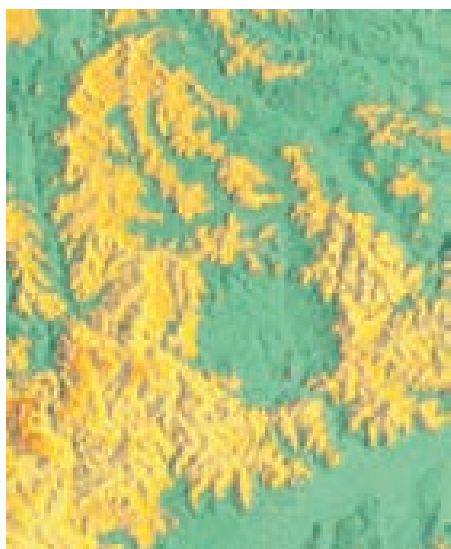


Fig. 11 - Topografia ed evoluzione geologica del cratere del Ries in Germania (diametro: 24 km; età: Miocene). (A) il futuro astroblema è indicato nel cerchio a tratteggio; i sedimenti marini del Miocene sono in puntinato, mentre i depositi lacustri nelle valli e nelle depressioni sono in barrato orizzontale. (B) Lo stesso paesaggio dopo la catastrofe da impatto: la superficie è cosparsa di proietti e di detriti; il bordo del bacino d'esplosione comincia a sezionarsi; (C) La conca risultante è riempita d'acqua e la suevite, un tipo di roccia caratteristico di aree che hanno subito un impatto (in nero), affiora in vari luoghi; l'erosione comincia a manifestarsi nelle valli e sulle superfici dei rilievi. (D) Paesaggio attuale: la coltre di proietti è già fortemente ridotta; il Rieskessel è riempito di alluvioni; oltre agli affioramenti di suevite, si notano calcari d'acqua dolce formati nel lago del Ries (da Monod, 1972).

rivestimento vegetale e dell'influenza antropica (Fig. 11); è dunque naturale che quelli maggiormente visibili siano ubicati soprattutto nei deserti (Fig. 12) o nella tundra (Fig. 13).

Il cratere meteoritico più famoso e forse il miglior esempio sul nostro pianeta di un astroblema relativamente recente e simile alle forme che si trovano in abbondanza sulla Luna, su Mercurio o su Marte, è il Barringer negli USA, più semplicemente conosciuto come Meteor Crater. Con il suo diametro di circa 1,2 km, la sua profondità di 180 m ed il bordo innalzato di una cinquantina di metri al di sopra del piatto deserto dell'Arizona, esso rimane comunque un'inezia in confronto con i primi 7 astroblemi, elencati secondo il diametro decrescente, della lista dei circa 180, data-

bili per la loro maggior parte fra i 450 milioni e i 200.000 anni fa, che figura nel sito web summenzionato (Tab. I).

Il riconoscimento che anche la Terra – come la Luna, Mercurio e Marte – è stata bersagliata fin dalle sue origini da corpi celesti spesso di grandi dimensioni e che l'impatto di questi ultimi non può non avere causato gravi danni alla biosfera, è un'idea nuova. Fino agli anni '60 del secolo scorso, infatti, concetti di questo tipo erano generalmente accolti con irritazione dai geo-paleontologi, e solo a partire dagli anni '70 le loro implicazioni hanno cominciato a far capolino nel mondo scientifico.

È emblematico ciò che scriveva Harold C. Urey nel 1973 su *Nature*: "Qualcosa come quindici anni fa suggerii che le tectiti fossero prodotte dalla colli-



Fig. 12 - Due esempi di astroblemi ubicati in aree desertiche: Aourounga nel Ciad (diametro: 12,6 km; età: Carbonifero Inferiore) e Ouarkiz in Algeria (diametro: 3,5 km; età: Cretacico Superiore o dopo).



Fig. 13 - Due esempi di astroblemi, ubicati entrambi nella tundra del Quebec canadese: a sinistra, il binario Clearwater (età: Permiano); a destra, Pingualuit (già Chubb) (diametro: 3,44 km; età: Pleistocene inferiore).

sione di comete con la Terra. Numerose e dettagliate ricerche su questi oggetti hanno aggiunto molto alla nostra conoscenza ed esse, insieme con le ricerche lunari, hanno provato che questa ipotesi è probabilmente corretta. Ho anche suggerito che i periodi geologici avessero avuto termine con tali collisioni, ma questo fu pubblicato nella *Saturday Review of Literature* e nessuno scienziato tranne me, per quanto ne sappia, legge quella rivista”.

Ma ancor più significativo è ciò che racconta l’oggi settantannenno geologo olandese Johán Bert (“Han”) Kloosterman, già ricercatore minerario in Africa Occidentale ed in Brasile:

“Una cosa è apprendere sui *plateau* basaltici e sulle età glaciali dai manuali, e tutt’altra è scoprire di persona che nel passato geologico è accaduto qualcosa di molto violento e di molto grande. Io ebbi la mia ‘rivelazione’ mentre remavo in una piccola canoa nel Fiume Jamaxim, a Sud del Rio delle Amazzoni, per la durata di nove lunghi giorni, percorrendo rapide il cui letto era costituito quasi interamente di riolite. Tornato al Rio ed impegnatomi in un po’ di fotogeologia ed in alcune letture, scoprii che a nord dell’Amazzonia quegli stessi vulcani sono distribuiti in ampi archi, per cui ipotizzai che rappresentassero caldere vulcaniche giganti. Pieno di entusiasmo, scrissi un lavoro in proposito e lo inviai a *Nature*. Il risultato può essere immaginato: mi fu rispedito il giorno stesso in cui venne ricevuto (fu pubblicato a Caracas in

occasione del II Congresso Latino-Americano de Geología, 1973, e ad esso seguì un altro lavoro in *Geologie en Minjnbouw*, 1975). Una tale esperienza è molto educativa: una lezione in più sul funzionamento dell’*establishment* scientifico”.

Kloosterman reagì a quel funzionamento dando vita alla rivista internazionale *Catastrophist Geology*, che si indirizzava appunto allo “studio delle discontinuità nella storia della Terra” e che, nei suoi 6 numeri pubblicati dal 1976 al 1978, ospitò contributi del più alto interesse di Derek Ager, Horace Dudley, Norman MacBeth, Axel Firsoff, Otto Schindewolf, Harold Aspden, René Thom e Roger Wescott. Ma alla fine la rivista, non ricevendo simpatia né sostegno finanziario sufficienti, dovette cessare la propria attività.

Il primo punto di svolta: la scoperta in Italia del livello ad iridio in corrispondenza del “limite K/T”

Lo svilupparsi delle ricerche sugli astroblemi terrestri era ormai il segno tangibile di un generale

Astroblemi	Diametro	Ubicazione	Età (milioni di anni fa)	Periodo
Vreddefort	300 km	Sud Africa	2.025 ± 4	Cretaceo
Sudbury	250 km	Ontario, Canada	1.850 ± 3	Cretaceo
Chicoutimi	170 km	Yveton, Messico	64,26 ± 0,20	Cretaceo
Pokpal	160 km	Siberia, Russia	35,7 ± 0,2	Paleogene
Manicouagan	160 km	Quebec, Canada	214 ± 1	Triassico
Chesapeake	90 km	Virginia, USA	35,3 ± 1	Paleogene
Acauan	90 km	Algeria	~ 590	Ediacarano

Tab. 1 - I primi 7 dei circa 180 astroblemi, elencati secondo il loro diametro decrescente, presenti nella lista preparata dal sito web Earth Impact Database (l’Orosiriano è il penultimo dei quattro periodi in cui viene suddivisa l’Era Paleoproterozoica; l’Ediacarano è l’ultimo dei tre periodi in cui viene suddivisa l’Era Neoproterozoica).

mutamento di pensiero secondo cui, in radicale opposizione con l'atteggiamento uniformitarista che aveva dominato le scienze della Terra per oltre un secolo, l'idea di eventi catastrofici in geobiologia era non soltanto scientificamente fondata, e perciò ineludibile, ma addirittura essenziale. Mancava dunque soltanto una scintilla che facesse esplodere la rivoluzione. E spetta proprio al cuore dell'Italia l'onore di aver fornito il punto di innesco per tale scintilla.

Questo punto di innesco fu la gola del torrente Bottaccione, nei pressi della piccola e medioevale città umbra di Gubbio. Nel 1979, cioè appena un anno dopo la fine di *Catastrophist Geology*, il valore di Kloostermann fu pienamente riabilitato da un gruppo di studiosi diretto dal Premio Nobel per la fisica Luis Alvarez e da suo figlio Walter (Università della California a Berkeley), che appunto nella gola suddetta, in corrispondenza del limite fra i pacchi di strati relativi alle ere Mesozoica e Cenozoica (il cosiddetto "limite K/T", cioè Cretacico-Terziario) mettevano in evidenza un sottile livello di argilla scura anormalmente ricco in iridio. E siccome l'iridio è un elemento assai poco diffuso nelle rocce della crosta terrestre, mentre si trova in abbondanza nei meteoriti e nei nuclei delle comete, ne scaturiva con la più logica e piana naturalezza l'ipotesi che esso provenisse da uno di quei corpi celesti caduto sulla Terra. E questa ipotesi era suscettibile di essere sottoposta ad indagine secondo più direzioni: ad esempio confrontando i livelli transizionali affioranti nei pressi di Gubbio con altri coevi delle più varie parti del mondo, ricercando eventuali crateri da impatto prodottisi nella medesima età, studiando con dettaglio i momenti di estinzione dei diversi gruppi di organismi del tardo Mesozoico, e così via.

Sono passati 30 anni esatti da quando gli Alvarez ed i loro collaboratori Frank Asaro e Helen V. Michel pubblicarono su *Science* l'ormai storico articolo "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction". Da allora l'ipotesi della caduta di un corpo celeste di grandi dimensioni al termine dell'Era Mesozoica ha acquisito punti a suo favore in misura tale, da essere ascesa al rango di solidissima teoria. I lettori che vogliono acquisire maggiori conoscenze su come questa teoria è andata evolvendosi possono rivolgersi al testo di taglio divulgativo *T. rex e il cratere dell'apocalisse* di Walter Alvarez, pubblicato in Italia nel 1998. Qui ci limiteremo a ricordare semplicemente che quantità anomale di iridio entro livelli sedimentari corri-

spondenti al limite K-T sono state rinvenute, oltre che a Gubbio, in decine di altre località di ogni parte del globo. Nei medesimi livelli, d'altra parte, sono spesso presenti microtectiti (sferule vitree generatesi dal raffreddamento di minutissime gocce di roccia portata a fusione dal grande calore dell'impatto e proiettate nell'atmosfera), granuli di quarzo con fratture lamellari (provocate dallo shock dell'onda d'urto) e tracce di fuliggine carboniosa (prodotta da incendi su vasta scala di intere foreste a causa della massa incandescente del bolide e della nuvola di roccia vaporizzata per l'enorme calore generato dall'impatto). Infine, già negli anni '70 era stato individuato da geologi messicani, sul fondo del Mare dei Caraibi immediatamente a Nord della penisola dello Yucatan, un cratere sommerso di forma ellittica e dal diametro medio di circa 260 km (Fig. 14) che poteva benissimo essere stato prodotto da un asteroide di circa 16 km di diametro, caduto con traiettoria inclinata e proveniente da Sud-Est in direzione Nord-Ovest. E poiché questo cratere, denominato Chicxulub (parola maya che significa "coda del diavolo"), si formò nell'Oceano Tetide, protagonista di primo piano della paleogeografia del Cretacico, l'impatto che lo produsse deve aver generato uno *tsunami* di estensione e violenza tali da strappare dai fondali marini enormi volumi di sedimenti per ridepositarli tutt'intorno non soltanto in ambiente sottomarino, ma anche ben all'interno delle vicine terre emerse. E l'ipotesi è confermata dalla scoperta di una grande quantità di depositi da *tsunami* sia all'interno della costa meridionale degli USA ed orientale del Mes-

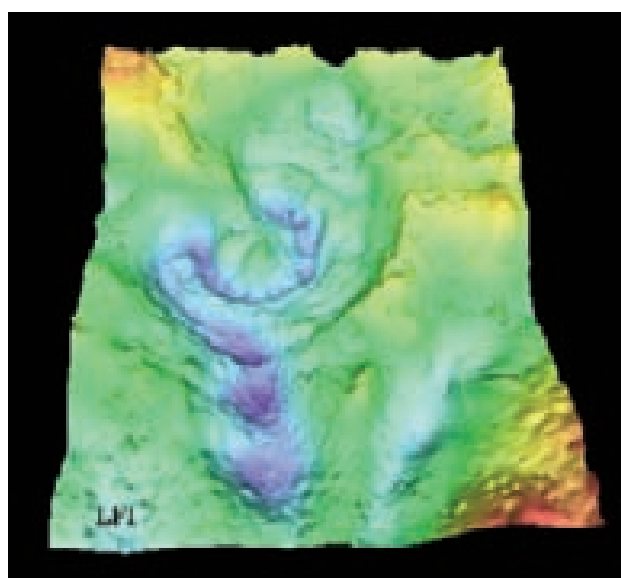


Fig. 14 - Un tracciato in prospettiva del campo gravitazionale del cratere Chicxulub, sul fondo marino caraibico antistante l'estremità nord-occidentale della Penisola di Yucatan.

sico, che a Cuba, ad Haiti e in fondo al bacino colombiano del Mare dei Caraibi. Pur tenendo conto del fatto che dal Cretacico ad oggi molta crosta oceanica dei Caraibi ha cessato di esistere, si è potuto constatare che la distribuzione di tutti questi depositi da *tsunami* segue le linee della costa nord-americana non così com'è attualmente, bensì com'era nel Cretacico superiore, e che i depositi distribuiti nell'area cubano-haitiana erano più spessi ed inglobavano microtectiti di maggiori dimensioni ed in quantità più elevate di quelli degli Stati Uniti meridionali.

In base al complesso dei dati forniti dalla ormai nutritissima letteratura scientifica esistente in proposito, va dunque delineandosi un quadro coerente ed assai drammatico della grande crisi terminale del Mesozoico. Crisi nella quale sembrano essere stati coinvolti almeno i 4 fattori di devastazione ambientale su ampia scala elencati di seguito.

(1) L'impatto prodotto da un corpo celeste del diametro di circa 10 km, caduto ad una velocità valutabile intorno ai 20 km al secondo, deve aver comportato un rilascio di energia cinetica pari a quella dell'esplosione simultanea di 200 milioni di bombe all'idrogeno.

(2) L'oscurità generata dalle polveri dell'impatto deve essere durata almeno alcuni mesi e perciò deve aver soppresso o molto diminuito i processi di fotosintesi nel regno vegetale, nonché causato un forte abbassamento di temperatura. Tutto ciò deve aver condotto a carestie e a drastiche estinzioni in seno alla biosfera. Cadute poi le polveri e rischiaratasi di nuovo l'atmosfera, il grande volume di particelle di vapore acqueo provenienti dall'Oceano Tetide deve essere rimasto ancora per lungo tempo negli strati più alti dell'atmosfera medesima, producendo un considerevole effetto-serra e facendo seguire al periodo di freddo estremo una fase di calore soffocante.

(3) L'energia liberata dall'impatto deve aver dato luogo a combinazioni chimiche tra l'azoto e l'ossigeno atmosferici producendo ossidi di azoto e acido nitrico, con conseguenti temporali di pioggia fortemente acida e corrosiva.

(4) La radiazione infrarossa emanata dall'impatto, infine, deve aver provocato incendi di foreste su vasta scala, bruciando almeno il 25% della vegetazione mondiale.

Alla fine del Cretacico, insomma, la superficie del nostro pianeta venne devastata da una conflagrazione extraterrestre e la biosfera ne subì le conseguenze con una pesante esecuzione in massa.

Il secondo punto di svolta: la considerazione del contesto galattico

Il secondo punto di svolta della rivoluzione anti-uniformitaria spetta agli astrofisici inglesi Victor Clube e Bill Napier, i quali, soprattutto nelle loro opere *The Cosmic Serpent* e *The Cosmic Winter*, rispettivamente del 1982 e del 1990, hanno posto in evidenza che gli eventi catastrofici dai quali la storia del nostro pianeta è stata costellata non devono essere considerati come saltuari e casuali, bensì vanno collegati ai movimenti ciclici del sistema solare nell'ambito della sua galassia di appartenenza. Questa ha la forma di un possente disco lenticolare del diametro di 100.000 anni-luce e contiene qualcosa come 100 miliardi di stelle, mediamente distanti fra loro appena pochi anni-luce; e il nostro Sole si trova immerso entro questo ammasso di stelle in prossimità del suo piano equatoriale ed alla distanza di circa 20.000 anni-luce dal suo nucleo centrale.

Poiché le stelle con le loro corti planetarie sono in continuo stato di moto sotto l'influenza di campi gravitazionali, i pianeti si disturbano reciprocamente per via delle loro mutue attrazioni, registrando perciò nei loro moti piccole deviazioni da una perfetta ellitticità; comunque sia, gli effetti cumulativi di questi cambiamenti sono estremamente piccoli nell'arco di vari milioni di anni, per cui nell'ambito di queste scale temporali la stabilità dei pianeti del sistema solare può considerarsi matematicamente assicurata. Tutto, insomma, andrebbe per noi a meraviglia, ... se non ci fossero le comete. Le comete sono fatte di ghiaccio e di polvere, e forse da corpi più grandi, e sono composte della specifica "mistura universale" di elementi chimici che si trova nelle stelle, fatta eccezione per l'idrogeno e l'elio che rimangono gassosi anche fino soltanto a pochi gradi sopra lo zero assoluto. Nella cosiddetta "nube di Öpik-Oort", ubicata da alcuni mesi-luce ad un anno-luce di distanza dal Sole, vi sono tante comete quante sono le stelle della Galassia; ed esse per orbitare intorno al Sole impiegano tipicamente da 3 a 6 milioni di anni, rispetto ai 250 anni di Plutone e ai 12 di Giove. Vi sono prove anche di una fascia di comete più vicina della nube di Oort, chiamata "cintura di Edgeworth-Kuiper" (Fig. 15).

Da molto tempo si sa che l'aspetto non uniforme della galassia (o via lattea, così come la si vede in ogni notte limpida) dipende da *nubi di gas e di polvere* che oscurano la luce delle stelle situate dietro di esse. Comunque nessuno sapeva quanto

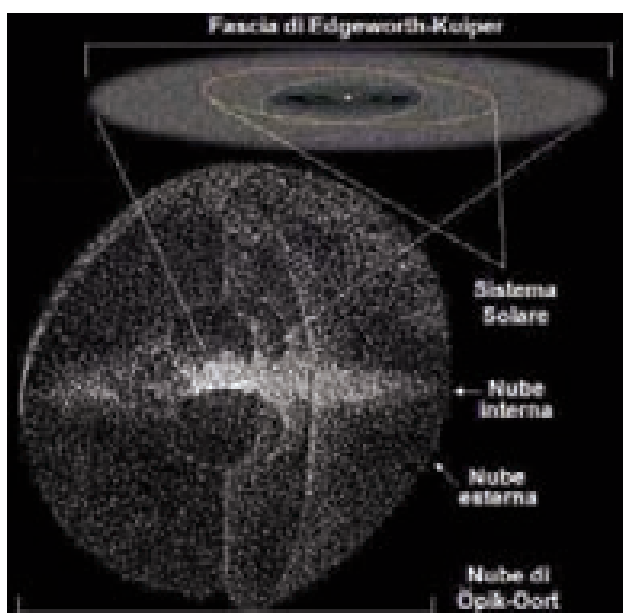


Fig. 15 - Proporzioni relative tra la nube di Öpik-Oort, la cintura di Edgeworth-Kuiper e il Sistema Solare.

esattamente fossero massicce queste nubi, e soltanto grazie ai risultati delle ricerche degli ultimi decenni si è potuto accertare che rappresentano la componente maggiore di ogni galassia (Fig. 16). Una tipica nube molecolare gigante ha un diametro di circa 100 anni-luce, può avere una massa pari a mezzo milione di volte quella del Sole e contiene spesso dense concentrazioni di stelle giovani nonché, con ogni probabilità, un numero enorme di comete appena formatesi e liberamente circolanti al suo interno. E nella nostra galassia, distribuite soprattutto entro il suo piano equatoriale, ci sono alcune migliaia di questi mostri.

Il semplice contesto galattico, dunque, ha in sé tutto il potenziale necessario per qualsiasi evento catastrofico terrestre. Infatti ogni passaggio del sistema solare in prossimità o attraverso una nube molecolare non potrà che determinare un severo sconvolgimento gravitazionale nella folla delle miriadi di comete presenti nella nube di Oort. E non è ancora tutto: perché oltre a quelli delle nubi molecolari incontrate irregolarmente dobbiamo mettere sulla bilancia anche gli sconvolgimenti gravitazionali prodotti da strutture galattiche più ampie quali le *braccia spirali* e lo stesso *piano equatoriale*. Man mano che il sistema solare ruota attorno al nucleo della Galassia, passando dentro e fuori le braccia spirali e sopra e sotto il piano equatoriale della medesima, esso ne risentirà periodicamente come se si trattasse di forze di marea.

In conclusione, vi sono due sorgenti principali di disturbo delle orbite cometarie: la “marea galattica”, con periodi regolari di alto e basso influsso, e,

sovrapposti a questa regolarità, i passaggi attraverso nubi molecolari. Entrambe queste sorgenti daranno luogo a deformazioni di molte delle suddette orbite, deviandole in direzione del Sole della Terra.

Contrariamente a quanto fino a poco tempo fa era dato per scontato, non tutte le comete hanno massa piccola ed insignificante. È certo che la maggior parte di esse non supera i pochi chilometri di diametro, quelle ancora più grandi risultando progressivamente più rare. Comunque sia, sebbene le comete giganti siano estremamente infrequenti, esse sono così notevoli da dominare l'intero sistema cometario (se prendessimo un campione a caso di 100 comete dalla nube di Oort, metà della loro massa sarebbe contenuta in una o due giganti di esse). Uscendo dalla loro orbita consueta, esse potrebbero essere catturate dalle potenti forze di gravità dei pianeti più esterni, soprattutto Giove, ed essere incanalate in orbite a corto periodo intersecanti con regolarità l'orbita della Terra intorno al Sole. Perciò nell'arco di milioni di anni di sconvolgimento cometario corrispondente ai momenti in cui il Sole va ad immergersi in un braccio spirale galattico, forse 20 o 30 comete giganti potrebbero raggiungere i pianeti interni per esservi progressivamente degassificate e distrutte dal calore solare. Ogni 100.000 anni, insomma, durante un periodo ad alto rischio, la Terra incontrerebbe i residui lasciati nel Sistema Solare interno dalla disintegrazione progressiva di una cometa gigante. Com'è noto, infatti, uno degli aspetti più importanti dell'evoluzione cometaria è quello di tendere a scomporsi in frammenti più piccoli, ciascun frammento



Fig. 16 - Un esempio di galassia: la Messier 74 o NGC 628, nella costellazione dei Pesci. Vi sono ben visibili gli ammassi di polvere, sotto forma sia di nubi molecolari che di braccia spirali.

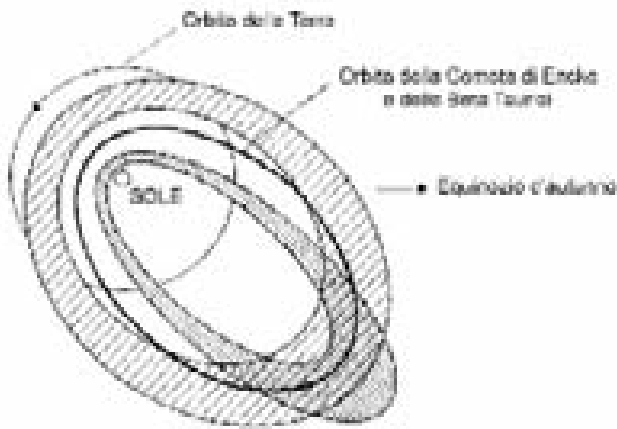


Fig. 17 - L'ipotesi di Clube e Napier. La somiglianza fra l'orbita della Cometa di Encke (linea spessa corrispondente altresì a quella delle Beta Tauridi) e le due ampie fasce di meteore scoperte dall'astronomo cecoslovacco J. Stohl, nonché il generale sovrapporsi di tali fasce con il complesso tauride e la nube zodiacale nel piano dell'eclittica, suggerisce un'origine comune da una singola cometa gigante progenitrice (da Clube & Napier, 1990).

conducendo una vita da cometa indipendente per un tratto più o meno temporaneo. L'esempio più noto di questo fenomeno è quello della cometa di Biela, scoperta nel 1805, che aveva un periodo di circa 7 anni e che si approssimava alla Terra il 27 novembre di ogni anno. Nel 1846, sotto gli occhi degli osservatori, la cometa si sdoppiò, producendo un compagno più piccolo di luminosità crescente. Le due comete si ripresentarono più distanziate fra loro nel 1852. Ma nel 1865 non c'erano più, e al posto loro, il 27 novembre 1872, la Terra fu interessata da uno sciame di meteore

Clube e Napier hanno focalizzato la loro ricerca sul complesso delle Tauridi, uno sciame di meteore proveniente da una piccola area della costellazione del Toro che si presenta ogni anno in due riprese: visibili nel cielo notturno fra il 3 e il 5 novembre ed invisibili nel cielo diurno – le cosiddette Beta Tauridi – fra il 24 giugno ed il 6 luglio. Oltre alle meteore, del complesso in questione fanno parte la Cometa di Encke, asteroidi del diametro di alcuni km come Efesto e Oljato, ed una copiosa abbondanza di polvere. I due astrofisici britannici affiancano a questo complesso anche le due ampie fasce di meteore scoperte dal cecoslovacco J. Stohl (Fig. 17), le cui orbite seguono un andamento analogo ed in parte si sovrappongono a quella della Cometa di Encke e delle Beta Tauridi. Per essi, dunque, tutto porta a far concludere che il Complesso Tauride rappresenti quanto oggi rimane di una cometa gigante (50-100 km di diametro), il cui inserimento in un'orbita a breve periodo (di circa 3,3 anni) incrociante quella terrestre si verificò nel Pleistocene Superiore e che da allora ad

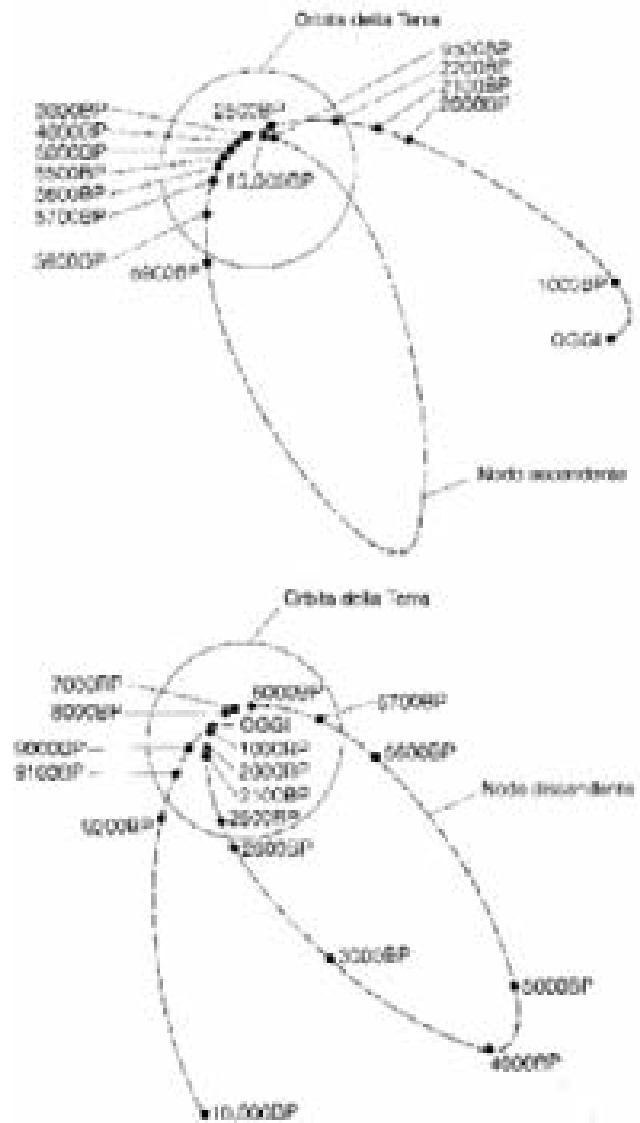


Fig. 18 - Punti di intersezione (nodi) dell'orbita della Cometa di Encke con il piano contenente l'orbita terrestre in varie date prima del presente (BP). Durante il primo millennio a.C. e fino al tempo di Cristo, l'orbita della cometa o quella delle polveri ad essa associate hanno intersecato quella della Terra, conducendo a piogge meteoritiche annuali di sorprendente intensità (da Clube & Napier, 1990).

oggi è andata progressivamente scomponendosi e frammentandosi. È pertanto ragionevole ipotizzare che il nostro pianeta, durante il processo di disintegrazione della cometa, sia stato più volte soggetto ad episodi occasionali di intenso bombardamento (Fig. 18), gli effetti dei quali non possono non essere rimasti registrati nelle documentazioni geopaleontologica, paleoclimatologica e storico-mitologica. Fra gli impatti documentati che sono avvenuti nei tempi storici moderni, rientra quello che il 30 giugno 1908 esplose sulla Siberia e, più di recente, l'intenso bombardamento da sciame meteoritico che ha colpito la Luna dal 22 al 26 giugno 1975 (Fig. 19).

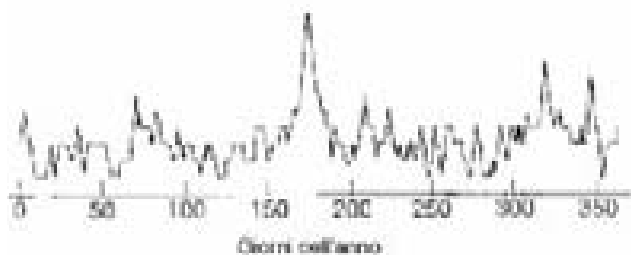


Fig. 19- Numero medio di meteoriti che (secondo i dati trasmessi dai sismometri lasciati sulla Luna dagli astronauti del Progetto Apollo) colpirono il nostro satellite in ciascun giorno dell'anno durante il quinquennio 1975-76. Il picco cospicuo della fine di giugno, raggiunto nel 1975 nell'arco di pochi giorni, fu dovuto ad uno sciame di meteoriti coincidente con quello delle Beta Tauridi (da Clube & Napier, 1990).

Sebbene inizialmente la tesi di Clube e Napier non sia stata bene accolta dalla maggior parte dei loro colleghi, la caduta della Cometa Shoemaker-Levy 9 su Giove nel 1994 determinò un notevole cambiamento di attitudine a tale proposito. Sotto gli occhi degli astronomi di tutto il mondo, la cometa si scompose in 20 frammenti che nell'arco di tempo di vari giorni andarono a colpire parti differenti del gigantesco pianeta (Fig. 20). È appena superfluo far notare che sulla Terra una simile serie di impatti sarebbe stata devastante.

Il terzo punto di svolta: la ricerca degli effetti di catastrofi cosmiche sull'umanità

La teoria di Clube e Napier, basata sull'estrapolazione di dati dell'età spaziale, richiedeva conferme provenienti da ricerche relative ai tempi storici antichi, all'Olocene iniziale ed al Pleistocene Superiore, che fossero basate su consistenti dati di geo-paleontologia di campagna e di laboratorio. E queste conferme hanno cominciato ad affluire con *Earth Under Fire* di Paul LaViolette, del 1997, con *The Cycle of Cosmic Catastrophes* di Richard Firestone, Allen West e Simon Warwick-Smith, del 2006 e con i volumi collettanei *Comet/Asteroid Impacts and Human Society* e *Myth and Geology*, entrambi del 2007, curati rispettivamente da Peter Bobrowsky e Hans Rickman e da Luigi Piccardi e Bruce Masse.

Dato che sarebbe troppo lungo descrivere i contenuti di queste opere, qui verranno riassunte soltanto le conclusioni di quella di Firestone, West e Warwick-Smith. Secondo questi autori:

- circa 41.000 anni fa una supernova esplose non lontano dal Sistema Solare, e l'ondata di radiazioni prodotta dal fenomeno causò ampie estinzioni in Australia e nell'Asia Sud-Orientale (gli altri conti-

nenti, schermati dalle radiazioni, furono risparmiati). Per circa 6 mesi, la supernova dovette illuminare il cielo quasi come un secondo Sole;

- intorno ai 34.000 ed ai 16.000 anni fa, la Terra subì due shock da fronte d'onda della supernova: in entrambi questi episodi la radiazione incrementò (ioni e particelle di vario tipo bombardarono il nostro pianeta), mentre crebbe anche la frequenza di impatti di comete e asteroidi;

- circa 13.000 anni fa, l'emisfero boreale della Terra fu interessato da impatti multipli di natura cometaria, i cui effetti possono essere riassunti nella tabella II.

Emerge, insomma, un quadro drammatico che riporta subito alla mente il celebre *Worlds in Collision* di Immanuel Velikovsky, il quale, sebbene sia stato fin dall'inizio considerato come opera di un ciarlatano e ferocemente combattuto dall'*establishment* accademico del tempo in quanto non fondato su una rigorosa base scientifica, pure non aveva affatto torto nel sottolineare l'importanza dei



Fig. 20 - Scoperta nel 1993 dagli astronomi Eugene e Carolyn Shoemaker e da David Levy mentre analizzavano fotografie dei dintorni di Giove, la Cometa Shoemaker-Levy 9 attirò subito l'interesse della comunità scientifica in quanto prima di allora non era mai accaduto che una cometa fosse scoperta in orbita attorno ad un pianeta anziché al Sole. La sua cattura da parte del campo gravitazionale di Giove ne causò la disgregazione in 21 frammenti, i quali si presentarono all'osservatore come una lunga fila di punti luminosi immersi nelle loro code. Gli studi dell'orbita della cometa portarono alla conclusione che essa sarebbe precipitata sul pianeta nel luglio del 1994. Fu quindi avviata un'estesa campagna osservativa che coinvolse numerosi osservatori a Terra e diverse sonde spaziali per la registrazione dell'evento. Tra il 16 ed il 22 luglio del 1994, i frammenti della cometa caddero su Giove in un vero e proprio bombardamento, e le macchie scure che si formarono nei punti di impatto si mantennero per diversi mesi prima di essere riassorbite dall'atmosfera del pianeta. L'evento sottolineò il ruolo svolto dai pianeti giganti esterni (Giove, Saturno, Urano e Nettuno) nel ridurre il rischio di impatti per quelli più interni come il nostro.

Effetti generali	Effetti sul volume d'acqua e il ghiaccio	Effetti sul clima	Effetti sulla biosfera
Il bombardamento interessato anche Mercurio, la Luna, il Sole e gli altri pianeti	Centinaia di migliaia di metri cubi di ghiaccio si vaporizzarono, causando il collasso di parte delle calotte glaciali	Il mare diffuso e le fiere solomarine liberarono metano congelato (il metano è un importante gas serra) dal ghiaccio, dal permafrost e dai fondi degli oceani.	Oscurità, freddo e furore distrussero la maggior parte della vegetazione nell'emisfero boreale
Il Sole reagì agli impatti con una serie di esplosioni nella sua cromosfera	Gli impattori e le scie dei flussi delle acque di scioglimento dei ghiacciai mobilitarono milioni di chilometri cubi di acqua.	Gli impatti produssero vasti volumi di vapore acqueo che precipitò per sedimentare sotto forma di pioggia e neve.	Milioni di animali vennero decimati per conseguenze di causa. I mammiferi di grandi dimensioni si estinsero.
Le onde d'urto si diffusero per tutto l'emisfero boreale.	Il rapido scioglimento delle calotte glaciali innalzò bruscamente il livello dei mari, erodendo dovunque le linee di costa.	Gli impatti diffusi produssero anidride carbonica, altro importante gas serra.	Si diffusero specie opportunistiche. Le alghe furono interessate da una crescita esplosiva, producendo il cosiddetto "Black mat".
Le esplosioni lanciarono proiettili in tutto l'emisfero boreale, producendo i Carolina Bays e altri bacini	Le esplosioni innescarono massive fiere solomarine.	Le fiere e le maree scie da acque di scioglimento innescarono il "conveyor" o "nastro trasportatore" oceanico dell'Atlantico.	Dopo una prima decimazione la specie umana, tra le più opportunistiche, cominciò a diffondersi in modo esplosivo.
Le shock degli impatti innescarono terremoti ed eruzioni vulcaniche.	Le fiere produssero enormi tsunami, i quali devastarono le coste dell'Atlantico.	Le combinazioni degli effetti elevati innescarono un clima a condizioni glaciali per 1.400 anni, il Dryas Recente, che fu seguito da un rapido riscaldamento.	
L'intenso calore causò incendi su vasta scala.		Il vapore acqueo, la fuliggine e i detriti caddero nell'atmosfera una spessa copertura in volume che durò un anno.	

Tab. 2 - Effetti prodotti dalla serie di impatti che, secondo Firestone, West e Warwick-Smith, colpirono l'emisfero boreale del nostro pianeta circa 13.000 anni fa (* Il *black mat* è un livello sepolto di sedimento carbonioso che è stato individuato in oltre 50 siti, dalla California al Canada e al Belgio: in Europa è conosciuto come "Orizzonte di Usselo").

miti tramandatici dai popoli antichi per la ricostruzione degli eventi catastrofici sofferti dalle società umane nel corso della preistoria, della protostoria e della storia antica (Fig. 21). E la riprova più evidente di questo fatto può essere indicata senz'altro nella citata opera collettanea curata da Piccardi e Masse: sicuramente il primo libro di testo professionale sulla nascente sub-disciplina della "geomorfologia", finalizzata appunto a mettere in relazione possibili eventi catastrofici di natura extraterrestre con descrizioni di tali eventi racchiuse nel lessico mitologico delle società antiche.

È evidente che la teoria della cometa gigante di Clube e Napier, non soltanto non è in contrasto con il quadro ricostruito da Firestone, West e Warwick-Smith, ma vi si inserisce in maniera logica e naturale. Concentrazioni di corpi celesti inferiori al km di diametro possono ancora esistere negli sciami di meteore che ogni anno tornano a visitarci. D'altra parte, questi corpi sono generalmente oscuri e difficili da individuare, e quand'anche oggi si riuscisse a farlo in tempo utile, ancora non disporremmo di adeguate strategie finalizzate a raggiungerli per modificarne la traiettoria o mitigarne le potenzialità distruttive. Per i corpi più grandi esiste poi un paradosso: il numero di comete che ci si aspetta siano inserite in orbite tipo Halley (cioè con periodi di 20-200 anni) è almeno due ordini di grandezza maggiore di quello osservato.

Il destino di un numero di comete quanto meno uguale a quelle conosciute ci rimane dunque ignoto, aprendoci la prospettiva che una popolazione significativa di comete scure incrocianti la Terra possa esistere ed aggiungere così ulteriore incertezza alle nostre valutazioni del rischio di evento catastrofico da impatto.

Episodi di bombardamento sono evidenti nella ben datata documentazione dei passati 250 milioni di



Fig. 21 - Dipinto di Chesley Bonestell ispirato all'opera di Velikovsky e raffigurante una delle 10 piaghe d'Egitto precedenti l'esodo mosaico.

anni, e non pochi di essi coincidono con transizioni fra periodi geologici. Vi è anzi evidenza che questi episodi si verificano con una periodicità di circa 35-37 milioni di anni, il che può essere connesso con disturbi galattici della nube cometaria di Oort. La soglia per tale periodicità è stata costruita sulla base di astrobolmi dal diametro maggiore di circa 40 km; e poiché questa è anche la soglia oltre la quale la conflagrazione da impatto acquista una portata mondiale, ciò induce a ritenere che le comete rappresentino una componente significativa, se non dominante, del rischio complessivo di eventi catastrofici di origine cosmica. Questo rischio, purtroppo, è ben reale e l'uomo non ha alcuna possibilità di sottrarsene.

Testi consultati

- Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. & Michel H.V. (1980) – *Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction*. Science, 208: 1095-1108.
- Alvarez W. (1997) – *T. rex and the crater of doom*. Princeton University Press, Princeton (tr. it. di B. Osimo e A. Montanari: *T. rex e il cratere dell'apocalisse*, Mondadori, Milano 1998).
- Baxter J. & Atkins T. (1976) – *The Fire Came By: The ride of the Great Siberian Explosion*. Macdonald & Jane's, London (tr. it. di T. Dobner, *Il fuoco venuto dal cielo*, Sperling & Kupfer, Milano 1978).
- Bobrowsky P. & Rickman H. (eds.) (2007) – *Comet/Asteroid Impacts and Human Society*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Chapman C.R. & Morrison D. (1989) – *Cosmic Catastrophes* (tr. it. di R. Sörgo: *Catastrofi cosmiche*, GEO s.r.l., Milano 1989).
- Clube V. & Napier B. (1982) – *The Cosmic Serpent*. Universe Books, New York.
- Clube V. & Napier B. (1990) – *The Cosmic Winter*. Blackwell, Oxford-Cambridge, Mass.
- De Laubenfels M.W. (1956) – *Dinosaur extinction: one more hypothesis*. Journal of Paleontology, 30 (1): 207-218.
- Déribéré M. & P. (1978) – *Histoire mondiale du Déluge*. Laffont, Paris
- Di Trocchio F. (1997) – *Il genio incompreso. Uomini e idee che la scienza non ha capito*. Mondadori, Milano.
- Firestone R., West A. & Warwick-Smith S. (2006) – *The Cycle of Cosmic Catastrophes. Flood, Fire and Famine in the History of Civilization*. Bear & Co., Rochester (Vermont).
- Foresta Martin F. (1982) – *Le comete*. Sansoni, Firenze.
- Frankel C. (1996) – *La mort des dinosaures. L'hypothèse cosmique*. Masson, Paris.
- Gallant R. (1964) – *Bombarded Earth (An Essay on the Geological and Biological Effects of huge Meteorite Impacts)*. Baker, London.
- Hoyle F. (1982) – *Ghiaccio*. Etas Libri, Milano.
- Hoyle F. (1993) – *The Origin of the Universe and the Origin of Religion*. The Frick Collection (tr. it. di S. Coyaud, *L'origine dell'universo e l'origine della religione*, Oscar Mondadori, Milano 1998).
- Kelly A.O. & Dachille F. (1953) – *Target: Earth*. Carlsbad, Calif.
- Keys D. (1999) – *Catastrophe. An Investigation into the Origins of the Modern World* (tr. it. di F. Saba Sardi: *Catastrofe*. Piemme, Casale Monferrato (AL) 2000).
- Kloosterman J.B. (2010) - *On Velikowsky*. www.velikowsky.info/Johan_B_Kloosterman.
- LaViolette P. (1997) – *Earth Under Fire. Humanity's Survival of the Apocalypse*. Starlane Publications, Schenectady NY (tr. it. di R. e T. Bosco: *Earth Under Fire: il codice dell'apocalisse*, Nexus Edizioni, Due Carrare (PD) 2006).
- Lewis J.S. (1996) – *Rain of Iron and Ice. The very real Threat of Comet and Asteroid Bombardment*. Helix Books/Perseus Publishing, LaVergne, TN.
- Monod T. (1972) – *Astrobolmi et cratères météoritiques*. In: Goguel J. ed., *Géologie I*, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard, Paris.
- Napier W.M. (2009) – *Comets, Catastrophes, and Earth's History*. Journal of Cosmology, 2:344-355.
- Öpik E.J. (1958) – *On the catastrophic effects of collisions with celestial bodies*. Irish Astronomy Journal, 5: 34-36.
- Piccardi L. & Masse W.B. (eds.) (2007) – *Myth and Geology*. Geol. Soc. Spec. Publ. 273, London.
- Steel D. (1995) – *Rogue Asteroid and Doomsday Comets. The Search for the Million Megaton Menace that Threatens Life on Earth*. Wiley & Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore.
- Urey H.C. (1973) – *Cometary collisions with geological periods*. Nature, 242: 32-33.
- Velikovsky I. (1950) – *Worlds in Collision*. MacMillan, New York e Doubleday, New York (tr. it. di A. Silvestri: *Mondi in collisione*. Garzanti, Milano 1955).
- Vershuur G.L. (1996) – *Impact! The Threat of Comets and Asteroids*. Oxford University Press, New York-Oxford.



Latonia, *Issoria lathonia* (Linnaeus, 1758)
Foto "Il Graffio", Follonica

Il nuovo Museo di Storia Naturale della Maremma: un viaggio affascinante nella natura della Toscana meridionale

Andrea Sforzi

Museo di Storia Naturale della Maremma, Strada Corsini 51 – 58100 Grosseto
direzione@museonaturalemaremma.it

Introduzione

Dalle Scienze della Terra alle Scienze della Vita. Dai concetti base delle Scienze Naturali semplificati a fini didattici ad approfondimenti tematici su singoli aspetti di rilievo. È questo il percorso che caratterizza il Museo di Storia Naturale della Maremma, all'interno dell'ex asilo Vittorio Emanuele (recentemente ristrutturato), nel centro storico di Grosseto. Il progetto museologico è stato curato dallo scrivente e da Valter Fogato, esperto di allestimenti naturalistici, illustratore naturalistico, modellista. La realizzazione delle esposizioni è frutto del lavoro di numerosi consulenti scientifici e validi professionisti, tra i quali il ruolo principale è stato svolto dai soci della Platypus s.r.l. di Milano. Grazie ai consistenti contributi della Fondazione Monte dei Paschi di Siena, è stato possibile realizzare un ambizioso progetto, che ha restituito alla città di Grosseto una istituzione culturale chiusa da alcuni anni, in una veste totalmente rinnovata rispetto alla precedente.

La nuova sede si compone di un ampio giardino, un piano terra dedicato alle attività (acco-



Ingresso principale del Museo.

glienza, book-shop, laboratori scientifici, biblioteca, emeroteca e sala polifunzionale per lettura, convegni e mostre temporanee) e due piani espositivi.

Scopi del museo

Il ruolo di un moderno Museo prescinde dalla oramai superata concezione di semplice insieme di oggetti esposti al pubblico, delineandosi come un centro di attività culturale, di promozione e diffusione della cultura scientifica. La realizzazione dell'attuale museo ha seguito questa logica, ponendo la struttura all'interno del proprio contesto territoriale di riferimento. Le funzioni che lo contraddistinguono spaziano dalla didattica alle esposizioni, dalla conservazione dei reperti alla pubblicistica e alla documentazione del patrimonio naturale. Il museo può essere dunque definito come:

- una struttura culturale di collegamento tra popolazione e territorio, per la comprensione del paesaggio naturale e delle sue componenti geomorfologiche, mineralogiche, floristiche, faunistiche e fossilifere;
- un punto di riferimento per le attività didattiche e formative rivolte a scuole e adulti;

un centro di ricerca capace di fornire indirizzi utili alla elaborazione di programmi per la salvaguardia e conservazione del patrimonio naturale;

- una istituzione scientifica indirizzata alla formazione di una coscienza naturalistica;
- una struttura specialistica, aperta all'operatività e alla attività di gruppi di studio, mediante collaborazioni con Enti scientifici ed Università, nei vari settori della Storia Naturale;
- un centro di documentazione del patrimonio culturale inerente la Storia Naturale della Toscana meridionale, anche attraverso la pubblicazione dei



Sala dei minerali e delle attività estrattive del monte Amiata.

risultati di studi e ricerche, relativi prioritariamente al territorio di riferimento;

- un forte elemento di diffusione della conoscenza del territorio in ambito scientifico.

Questo articolato insieme di funzioni si riflette anche nella organizzazione delle attività all'interno della struttura museale. Al semplice fine ostensivo delle collezioni si affiancano, infatti, le attività specialistiche dei laboratori scientifici, oltre a quelle didattiche e di approfondimento svolte nella sala polifunzionale, nella biblioteca e all'interno del percorso espositivo.



Sala delle Scienze della Terra.

Il territorio di riferimento

La denominazione “Museo di Storia Naturale della Maremma” (già Museo Civico di Storia Naturale di Grosseto) delinea una precisa identificazione geografica, che connota fortemente la struttura museale come museo territoriale. Il termine *Maremma* deve essere qui inteso nella sua accezione più ampia, non limitata alle sole zone umide costiere (che pure ne costituiscono una parte essenziale, nonché la base etimologica), ma estesa anche alle aree geograficamente attigue che ne rappresentano lo sviluppo naturale (colline dell'interno, fino all'Amiata). Sebbene gli aspetti ambientali non abbiano alcuna relazione con i confini amministrativi di un territorio, per praticità l'area geografica di riferimento del Museo può essere identificata nella Provincia di Grosseto o, più in generale, nella Toscana meridionale.

Struttura dei contenuti

La vasta articolazione di argomenti che caratterizza la storia naturale di un territorio necessita di soluzioni che ne facilitino la lettura e la conseguente comprensione. Nel caso del Museo di

Storia Naturale della Maremma il percorso espositivo è stato suddiviso in due sezioni principali: scienze della terra e scienze della vita.

La prima espone reperti abiotici (minerali, rocce e fossili), la seconda, ben più estesa della precedente, descrive con un approccio ecosistemico le caratteristiche biologiche più salienti del territorio di riferimento.

Il percorso di visita inizia con una introduzione alla storia naturale della Maremma e al museo. La seconda e la terza sala trattano i temi delle scienze della terra, dai minerali, alle rocce, ai processi geomorfologici, ai fossili. Il corridoio che collega la sala tre alla successiva media il passaggio alle scienze della vita, che caratterizzano la



Diorama dell'Oreopiteco, scimmia antropomorfa di ambiente insulare toscano-sardo del Miocene Superiore.

restante parte della esposizione. La transizione tra le due sezioni del museo, che coincide anche con una transizione tra due diversi concetti espositivi, si sviluppa all'interno della quarta sala. Il successivo ambiente, su due volumi, è dedicato all'acqua nei suoi principali aspetti ambientali costieri: fondali marini, coste, aree umide. L'esposizione prosegue quindi al piano superiore,

con la rappresentazione delle più importanti biocenosi terrestri, dalle aree costiere e collinari fino a quelle montane. È qui che si colloca il percorso ecologico, una serie di vetrine allestite come dei mini-diorami, che esemplificano i principali ambienti della Toscana meridionale esponendo le specie animali e vegetali più caratteristiche.

Il passaggio dall'ultima sala di questa parte del percorso alla balconata che si affaccia sulla sala dell'acqua è dedicato alle grotte e alla biospeleologia. L'ultimo spazio del percorso espositivo completa la trattazione degli ambienti legati all'acqua attraverso la collezione malacologica e l'ausilio di diverse soluzioni scenografiche, tra le quali l'utilizzo di modelli di cetacei e altri vertebrati marini appesi al soffitto, visibili

li dai quattro lati grazie al ballatoio che corre lungo tutto il perimetro della sala.

Criteri espositivi

Le soluzioni allestitivo adottate variano in base alle caratteristiche degli ambienti e degli



Albero della diversità dei viventi.



Panoramica della sala a due volumi.

argomenti da trattare. Sono state utilizzate diverse soluzioni espositive (pannelli, vetrine, diorami, postazioni multimediali, video), individuando di volta in volta quella ritenuta più idonea alla trattazione dei singoli temi. L'interazione dei diversi strumenti compone infatti un modello comunicativo articolato e differenziato per argomenti e per tipologia di "utente".

Il percorso espositivo risponde all'esigenza di coniugare due diversi principi concettuali: una trattazione più "classica", ispirata a criteri di tipo sistematico o cronologico (in linea con la logica espositiva più diffusa nelle collezioni di campioni abiotici) e un approccio descrittivo delle biocenosi e delle relazioni ecologiche che le caratterizzano. In entrambi i casi gli oggetti esposti vengono svincolati da un contesto rigido e statico e inseriti in una dimensione concettuale più moderna e comunicativa.

Questo approccio ha imposto una profonda rivisitazione delle collezioni, oltre a preparazioni "ad hoc", assicurando per contro una efficace trattazione degli argomenti ed una eccellente resa visiva. Ogni elemento naturale viene così inserito nel suo contesto

ambientale e corredato di una serie di informazioni di carattere morfologico, ecologico, comportamentale.

La semplificazione a fini didattici dei concetti scientifici e la scenicità di molti degli oggetti esposti (pur non rinunciando al rigore scientifico) realizzano un conseguente accresciuto potere attrattivo delle singole collezioni e del Museo nel suo insieme. Le didascalie svolgono un ruolo estremamente importante nella visita. Esse, nella maggior parte dei casi bilingue, tengono conto dei diversi livelli di conoscenza ed interesse delle principali classi di età, acquisendo quindi una



Sala delle scienze della vita.



Diorama del Capriolo italiano.



Vetrina degli Anfibi e dei Rettili.



Sala polifunzionale.

struttura differenziata sulla base dei livelli di lettura e di approfondimento.

Lungo il percorso espositivo è stata posta particolare attenzione ad alternare informazioni di dettaglio sui campioni esposti e approfondimenti su argomenti di interesse generale. Ciò consente di realizzare contestualmente una trattazione esaustiva della realtà propria del contesto ambientale specifico, senza rinunciare alla descrizione di argomenti di carattere generale, spesso propedeutici alla corretta comprensione di altri concetti.

Un ulteriore elemento distintivo del museo sono le *isole didattiche*, importanti elementi di supporto e di approfondimento alla semplice visita guidata. Si tratta di ambiti fisicamente distinti dalle strutture espositive, all'interno dei quali gli alunni possono seguire lezioni su temi specifici e sviluppare esperienze dirette attraverso la manipolazione di campioni. Le lezioni di approfondimento possono così affiancarsi ad una visita guidata delle sale espositive o costituire uno strumento didattico indipendente, inserito nel contesto di un percorso tematico di approfondimento.

Struttura e collocazione delle *isole didattiche* sono pensate in modo da non ostacolare la normale fruizione del percorso di visita, consentendo il contemporaneo svolgimento di attività didattiche e di visite (con o senza guida).

Una rete di postazioni multimediali consente infine di approfondire la trattazione di alcuni argomenti, fornendo elementi aggiuntivi, a completamento dei servizi offerti mediante la biblioteca scientifica.

Io, il lettore

Io, il lettore



Egeria o Sesia apiforme,
Aegeria apiformis Clerck, 1759
Foto "Il Graffio", Follonica

Il cavallo fossile di Castelnuovo Berardenga: come è stato scoperto e recuperato

Ivan Martini

Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina 8 – 53100 Siena.
martini.ivan@unisi.it

In ambito scientifico, e in particolare in archeologia e in paleontologia, le scoperte sono spesso dettate dal caso. Reperti come i Bronzi di Riace ed il piccolo dinosauro “Ciro” di Pietrarroia, infatti, hanno potuto essere recuperati dal fondo marino e dalla roccia, che li hanno custoditi rispettivamente per millenni e per decine di milioni di anni, solo grazie ad una serie di circostanze fortuite.

Questa breve nota, volutamente priva di qualsiasi approfondimento scientifico, si limita semplicemente a “raccontare la storia” di uno di questi rinvenimenti: cioè come essa si è svolta dalla sua casuale scoperta al suo recupero.

La scoperta

Il fatto è accaduto 12 marzo 2009, quando chi scrive, per motivi di studio legati ad un progetto di ricerca a carattere sedimentologico-stratigrafico, era intento a percorrere a piedi la campagna dei dintorni di Castelnuovo Berardenga.

Sebbene in tutta quella zona affiorino per lo più pacchi di strati del Pliocene Medio, cioè di oltre 3 milioni di anni fa, allorché il territorio senese era

per la maggior parte sommerso dal mare (Costantini *et al.*, 1982), l’area in quel momento esaminata dallo scrivente – ubicata nelle vicinanze della frazione di Sestano – consiste di una potente successione sedimentaria sabbioso-argillosa di ambiente deltizio e costiero (Aldinucci *et al.* 2008, 2009) di età almeno in parte pleistocenica, cioè successiva al Pliocene.

Al fine di realizzare una carta geologica aggiornata del territorio basata su eventuali nuove esposizioni rocciose, la ricerca prevedeva percorsi su strade e sentieri studiati con cura a tavolino in una fase preliminare alla spedizione stessa, allo scopo di evitare di perdere troppo tempo in itinerari che verosimilmente non avrebbero portato elementi di novità in un contesto già ben noto. Deviazioni rispetto ai percorsi stabiliti erano consentite unicamente qualora evidenze di campagna precedentemente non note ne suggerissero l’opportunità.

Una piccola deviazione, dettata dal caso e dalla curiosità, ha portato ad una strada bianca incisa da due canalette createsi naturalmente per deflusso preferenziale dell’acqua piovana; e sul fondo di una di queste canalette spiccava un frammento osseo biancastro che, a prima vista, faceva pensare ad una costola di mammifero relativamente recente (Fig.1). Dissotterrando parzialmente il reperto, comunque, si è visto che di esso era biancastra soltanto la parte che era stata esposta all’aria, mentre il rimanente era di colore bruno e perciò denotava un tempo di sepoltura responsabile di almeno un certo grado di fossilizzazione. D’altra parte, nella stessa occasione è stato constatato che anche nell’altra canaletta, distante oltre un metro da quella con il reperto sopra descritto, erano presenti frammenti ossei, sia pure non deter-



Fig. 1 - Il frammento osseo come visibile al momento della scoperta.



Fig. 2 - I resti ossei in connessione anatomica come si presentavano dopo la prima fase di scavo.



Fig. 3 - Dettaglio delle ossa della cassa toracica.

minabili. Vi erano dunque elementi sufficienti per supporre che al di sotto del piano stradale fossero presenti altri reperti. Tale supposizione, in ogni caso, poteva essere confermata soltanto da uno scavo organizzato. Si è pertanto provveduto ad avvisare del ritrovamento il proprietario del terreno e le autorità competenti (Carabinieri), nonché a recintare il punto da cui affioravano i reperti.

Lo scavo

Dopo aver segnalato la scoperta alla Soprintendenza ed aver ottenuto da questa i permessi necessari per effettuare lo scavo esplorativo, si è andati alla ricerca di esperti in recuperi di vertebrati fossili di grandi dimensioni i quali aiutassero a ben condurre le operazioni di scavo e di successiva estrazione. A tale scopo sono stati presi contatti con i volontari del Gruppo Avis Mineralogia Paleontologia Scandicci (GAMPS) presieduto da Simone Casati: gruppo arrivato agli onori della

cronaca per i recuperi di reperti notevoli di Cetacei e Sirenidi fossili quali le balene di Castelfiorentino (FI) (1998), Alleronia (TR) (2007) e Montalcino (SI) (2007), il dugongide *Metaxytherium* di Campagnatico (GR) (2007) e il delfino di Asciano (SI) (2008).

I ragazzi del GAMPS si sono subito dimostrati entusiasti e disposti a fornire la loro collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra, per cui sono passati solo pochi giorni prima che iniziassero le operazioni di scavo.

In una prima fase si è proceduto ad evidenziare tutte le parti ossee non ancora visibili perché inglobate nel sedimento, eseguendo quindi uno scavo di estrema precisione con strumenti quali spazzole, pennelli, piccoli scalpelli, bisturi, punteruoli, ecc. Man mano che le ossa venivano a giorno si procedeva poi al consolidamento delle stesse trattandole con *paraloid*, una resina diluibile nell'acetone in grado di impregnare le ossa e che, una volta essiccata, ne aumenta la resistenza.

Durante questa prima fase è stato possibile osservare tutti i resti ossei in connessione anatomica (Figg. 2-3): condizione che, unita al ritrovamento di alcuni denti (particolarmente indicativi nella discriminazione dei differenti gruppi di mammiferi), ha consentito una preliminare determinazione del resto fossile: si trattava dello scheletro di un antico *Equus* o cavallo, sebbene non fosse possibile precisare sul momento la specie.

A questo punto si è reso necessario proteggere le ossa che erano state messe allo scoperto da



Fig. 4 - Operazioni di scavo intorno al sarcofago di gesso.

eventuali urti o interventi esterni. L'obiettivo è stato raggiunto con la "gessatura" di tali ossa (Fig. 4): consistente nel ricoprirle con uno spesso strato di bende impregnate di gesso scagliola che, una volta indurito, avrebbe formato come sorta di sarcofago. Per questa delicata operazione sono stati utilizzati oltre 40 kg di gesso ed alcune decine di metri di bende.

La prima fase, quella dello scavo minuzioso e certosino, poteva perciò considerarsi conclusa, mentre aveva inizio la seconda fase: quella che avrebbe consentito l'estrazione finale del blocco contenente i resti del cavallo fossile.

Per questo si è proceduto praticando tutto intorno al "sarcofago" un fossato profondo circa 70 cm e largo oltre 1 metro: operazione che ha richiesto l'impiego di un escavatore gentilmente concesso dall'Azienda Agricola Castello di Monastero s.r.l. (Fig. 4). Grazie al medesimo scavo è stato poi possibile operare intorno al blocco di sedimento che conteneva il reperto, praticandovi alla base una trivellazione orizzontale che consentisse di inserirvi alcuni pali innocenti.

Questi pali hanno costituito la base per una gabbia di tubi innocenti che è stata costruita allo scopo di contenervi l'intero blocco. Successivamente la gabbia metallica è stata rivestita nei suoi lati con pareti di legno (Fig. 5). Infine, gli spazi vuoti tra il blocco di sedimento e le pareti sono stati riempiti con una schiuma di poliuretano espanso avente il duplice scopo di proteggere il reperto dagli urti durante il trasporto e di rendere solidale il blocco con la cassa ingabbiata (fig. 6).

Il blocco, dal peso finale di 22 quintali, era così finalmente pronto per essere staccato dal substrato e trasportato a Scandicci (FI) nei laboratori del GAMPS, dove il reperto sarebbe stato ripulito



Fig. 6 - Il blocco dal peso di 22 quintali pronto per l'estrazione. È possibile vedere la schiuma bianca protettiva (poliuretano espanso) che avvolge completamente il reperto.



Fig. 5 - Operazioni di costruzione della gabbia metallica intorno al blocco inglobante il reperto.

e restaurato al fine di essere reso fruibile sia per lo studio della sua esatta collocazione paleontologico-stratigrafica – studio che sarà eseguito dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena – che per eventuali esposizioni museali.

L'ultima operazione, per la quale è stato necessario noleggiare un camion dotato di una potente gru, è stata eseguita il 27 agosto 2009 alla presenza del Magnifico Rettore dell'Università di Siena, Prof. Silvano Focardi.

I più cordiali ringraziamenti: ai volontari del GAMPS di Scandicci per il loro lavoro, eseguito a titolo interamente gratuito con grande passione ed esperienza; all'Azienda Agricola Castello di Monastero s.r.l. ed ai suoi lavoratori per il prestito a titolo non oneroso dell'escavatore e per la comprensione e pazienza dimostrateci; al Prof. Fabio Sandrelli per il sostegno economico alla realizzazione dello scavo.

Testi citati

Aldinucci M., Martini I. & Sandrelli F. (2008) - *The Pliocene deposits of the northern Siena Basin (Tuscany, Italy) revisited through unconformity-bounded stratigraphic units*. Abstract book, GEOSD Bari, 6-7.

Aldinucci M., Martini I. & Sandrelli F. (2009) - *Sequence stratigraphic architecture of basin margin deposits: the Pliocene of the Northern Siena Basin (Tuscany, Italy)*. 27th IAS Meeting of Sedimentology, Alghero, Abstract book, pp. 423.

Costantini A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1982) - *Il Graben di Siena*. CNR. Progetto Finalizzato Energetica, Sottoprogetto Energia Geotermica, Final Report, Pisa. 170 pp.

La cura degli alberi in ambiente urbano: intervista a due esperti del settore

*Riccardo Ferrari**, *Giovanni Mastrandrea***, *Barbara Anselmi****

* Treeclimber professionista, Grosseto, rikrunner@virgilio.it

** Dottore Forestale specializzato in arboricoltura urbana, Grosseto, g.mastrandrea@gmail.com

*** Naturalista, Associazione Culturale di Murlo (SI), info@murlocultura.com

Le drastiche “attenzioni” colturali di cui nelle nostre città sono frequentemente fatti oggetto singoli alberi o insiemi di alberi fanno spesso sorgere dubbi circa la reale necessità di tali interventi e soprattutto circa la loro efficacia. Per rispondere a questi interrogativi, che i cittadini sempre più si pongono, ci siamo rivolti a due esperti di arboricoltura urbana, disciplina che negli ultimi anni si è notevolmente sviluppata in diffusione ed innovazione dal punto di vista sia teorico che pratico: Giovanni Mastrandrea e Riccardo Ferrari. Il primo è dottore forestale specializzato in arboricoltura urbana, mentre il secondo opera in Toscana in maniera del tutto peculiare in quanto è anche un *treeclimber*, cioè effettua gran parte del suo lavoro a diretto contatto con la chioma degli alberi grazie ad un sistema di corde ed imbracatura che rammenta un po' quello degli alpinisti. Ad entrambi abbiamo rivolto alcune domande.

Come si cura un albero in ambiente urbano?

Gli alberi nei centri urbani svolgono un ruolo fondamentale per la collettività. Essi, infatti, oltre ad avere un'indubbia funzione estetica, aiutano a mitigare gli inquinanti ed i rumori, creano un microclima migliore e portano in mezzo al cemento un frammento di natura. In città, comunque, gli alberi non hanno quasi mai la possibilità di svilupparsi in modo completamente autonomo e naturale, sia perché mancano loro le condizioni ecologiche ottimali, sia perché costretti da infrastrutture situate sopra e sotto il suolo. In tal modo possono crearsi situazioni per cui gli alberi, se non correttamente gestiti, rischiano di rappresentare un pericolo per cose o persone.

Una corretta gestione e cura degli alberi di città deve partire dall'inizio, cioè dalle necessarie conoscenze della loro biologia, fisiologia ed ecologia. In caso contrario si rischia di trat-

tare le piante come elementi architettonici di arredo urbano al pari di un lampione o di una panchina.

Per prima cosa si deve effettuare un'analisi della stazione di impianto (sottoservizi, suolo, infrastrutture, dati meteo-climatici), quindi orientarsi tra le specie idonee a tale stazione, considerandone lo sviluppo futuro. È inutile piantare un albero che a maturità arriva a 20-30 metri di altezza a ridosso di un edificio, perché ciò vorrebbe dire condannarlo a ripetute e drastiche potature di contenimento che ne sfigurerebbero il portamento. In questi casi non è certo colpa dell'albero!

È importante anche fare una corretta scelta delle piante al vivaio: trattamenti scorretti in fase giovanile possono compromettere il successo futuro dell'impianto ed avere conseguenze che si ripercuotono per tutta la vita della pianta.

Dopo la messa a dimora, è importante seguire lo sviluppo della pianta con le dovute cure colturali. Queste comportano corrette innaffiature, concimazioni se necessarie, protezione del tronco dagli urti delle auto nei parcheggi ed un corretto “tutoraggio” tramite sostegni, da togliere però al momento giusto: il tronco infatti deve essere ad un certo punto lasciato alle naturali sollecitazioni del vento, che stimolano le corrette risposte meccaniche delle cellule del tronco e dei rami consentendo alle piante di divenire naturalmente stabili.

Durante la crescita dell'albero e nella sua maturità, può essere talvolta necessario ricorrere a potature di indirizzo o di correzione, che però devono essere fatte da un arboricoltore esperto ed usando tutte le cautele, perché l'albero nelle prime fasi di crescita è assai vulnerabile, proprio come un bambino piccolo, ed un intervento sbagliato può comprometterne lo sviluppo futuro.

A proposito di potature, è necessaria la potatura, più



Fig. 1 - Pesante intervento di “capitozzatura” dei tigli di un viale pochi giorni dopo l’intervento (Foto Barbara Anselmi).



Fig. 2 - Scheda della Società Italiana di Arboricoltura sulla pratica della capitozzatura.

o meno drastica, che vediamo spesso fare da chi gestisce il verde nelle nostre città?

La potatura fatta correttamente è quella che non si vede, quella cioè che mantiene il portamento e la forma naturali dell'albero. Le potature drastiche non sono altro che estremi rimedi a grossi problemi dell'albero, derivati spesso da mancate cure o precedenti potature sbagliate.

Uno degli interventi più sbagliati in assoluto è la “capitozzatura” che, come dice il nome, consiste nel tagliare tutta la chioma dell'albero all'altezza dei rami principali, inducendolo così a riformare molti rami sottili e fragili (Fig. 1). Questo metodo è rimasto come consuetudine ereditata dal passato, quando era molto utilizzato per il gelso al fine di stimolarlo a produrre molta “frasca” per i bachi da seta allevati dai contadini. Oggi questa esigenza non sussiste più, per cui la capitozzatura costituisce un classico esempio di intervento sbagliato sul patrimonio arboreo urbano – purtroppo ancora molto utilizzato dagli amministratori e dai privati cittadini – contro il quale si sono schierati gli arboricoltori e le istituzioni che li rappresentano, quali la Società Italiana di Arboricoltura ed il suo analogo internazionale (ISA) (Fig. 2). Da tempo, infatti, è dimostrato scientificamente che la capitozzatura porta solo danni alla pianta ed alla funzione che questa deve svolgere in città.

Ecco i principali motivi che spiegano perché non si deve capitozzare:

- una volta tolta la chioma, questa ricresce in modo disordinato e non ha più niente a che vedere con il suo portamento naturale, per cui l'albero perde il suo valore estetico (che paradossalmente è proprio il motivo per cui era stato piantato!) (Fig. 3);
- fatta una capitozzatura non si torna più indietro: la crescita armonica dell'albero è compromessa per sempre;
- si tratta di una pratica inutile perché fatta con l'intenzione di diminuire la chioma dell'albero, mentre in realtà



Fig. 3 - Un taglio del medesimo viale della figura precedente a due anni di distanza dalla capitozzatura. La chioma che si è ricostituita consiste di un gran numero di rami avventizi malformati ed a crescita caotica (Foto Barbara Anselmi).

dopo un anno o due questa torna praticamente uguale a prima, in quanto l'albero tenta di rimpiazzare velocemente la superficie fogliare perduta, necessaria per dare nutrimento al fusto ed alle radici attraverso la fotosintesi. Sarebbe più corretto affidarsi a professionisti in grado di correggere ugualmente la crescita dell'albero mantenendone la forma e la salute (ad esempio con un appropriato taglio di ritorno);

- si tratta di una pratica antieconomica: dopo il primo intervento, infatti, si è costretti ad intervenire quasi ogni anno perché la pianta produce molti rametti avventizi (polloni), per cui è necessario spendere sia per l'intervento che per lo smaltimento del materiale

- rende l'albero instabile perché i polloni che vi ricrescono, al contrario dei rami laterali, sono debolmente attaccati al tronco e tendono a

schiantarsi ed a cadere, anche molti anni dopo la ricrescita. La chioma ricresciuta, fitta e intricata, offre una maggiore resistenza al vento della chioma naturale e l'albero può schiantarsi o ribaltarsi per "effetto vela". Infine i ripetuti stress dovuti all'asportazione delle foglie impediscono alle radici di ricevere il necessario nutrimento per tempi molto lunghi e si creano marciumi radicali che possono portare al crollo dell'albero;

- con la capitozzatura si accorcia la vita dell'albero di almeno 10 volte, in quanto lo si sottopone al forte stress di riformare la chioma velocemente;

- le ferite esposte in seguito alla capitozzatura sono molto grandi e la pianta non riesce a cicatrizzarle subito, per cui diventa una porta aperta per parassiti e funghi come la carie del legno.

Mi risulta, però, che almeno in certi casi la "capitozzatura" venga fatta per impedire che i rami troppo grossi di un albero si spezzino provocando danni.

Questo pericolo può essere evitato realizzando semplicemente un "consolidamento" dei rami a rischio. Per farlo vengono utilizzati speciali cavi in fibra sintetica che consentono la messa in sicurezza delle branche e permettono il naturale accrescimento della pianta. Oggi queste tecniche, come quelle di potatura mirata, sono ormai all'ordine del giorno e possono essere svolte con efficacia e precisione grazie alla tecnica del *treeclimbing*.

Cos'è il treeclimbing?

Il *treeclimbing*, parola inglese che significa "arrampicarsi sugli alberi", è una nuova tecnica per fare arboricoltura la quale parte dal presupposto che l'operatore deve "entrare nell'albero" per poter raggiungere tutte le parti della pianta necessarie, cosa impossibile con altre tecniche. Il *treeclimber* usa tecniche di arrampicata e di intervento sugli alberi fondate su questi due principi: la tutela costante della propria sicurezza e di quella dei colleghi ed il pieno rispetto della pianta in ogni fase del lavoro. L'attrezzatura è specifica per gli alberi e consiste in imbracatura, casco, corda e connettori (Fig. 4).

Ma, al di là dell'attrezzatura, il *treeclimber* è prima di tutto un arboricoltore, che tiene presenti le esigenze dell'albero e si pone come obiettivo principale quello di conservarne un aspetto integro e



Fig. 4 - Treeclimbers all'opera (da www.treeclimbing.it).

dignitoso anche nelle operazioni più radicali di intervento, sempre rispettando la pianta. Ed è per questo che nel *treeclimbing* i ramponi vengono usati solo su alberi che devono essere abbattuti, perché vecchi o pericolosi. Anche nel caso che sia necessario abbattere un albero, il *treeclimbing* offre la possibilità di allestire vari sistemi per “smontare” in parti più piccole le branche dell'albero e calarle in modo controllato, così da operare in sicurezza anche dove vi siano beni immobili da tutelare.

Come si diventa treeclimber?

È necessario seguire corsi di formazione specifici sia in arboricoltura che in tecniche di *treeclimbing*. I corsi e l'attestato che viene conseguito assicurano che l'attrezzatura e i metodi rispettino le norme sulla sicurezza sul lavoro. Senza questo attestato non si può operare sugli alberi. Oltre a questo è possibile acquisire certificazioni riconosciute a livello internazionale come quella dell'International Society of Arboriculture (ISA) e dell'European Arboricultural Council (EAC).

In ogni caso chi fa questo mestiere deve prima di tutto conoscere bene le tecniche dell'arboricoltura e la fisiologia degli alberi, vale a dire il loro funzionamento, per poter fare interventi

efficaci e corretti in ogni situazione. Oggi anche l'Università permette di approfondire la conoscenza di queste discipline con le specializzazioni in arboricoltura e, più recentemente, anche con un corso di laurea specifico in gestione dell'ambiente urbano. Queste discipline hanno assunto molta importanza e si sono evolute tantissimo a partire dalle idee di Alex Shigo, autore del libro *Modern Arboriculture. Touch Trees* (Shigo and Trees Associates LLC, USA, 1991) e padre fondatore dell'arboricoltura moderna (Fig. 5). Shigo sosteneva che gli alberi possono essere aiutati aiutando le persone che lavorano su di essi, coinvolgendoli cioè in programmi educativi basati sulla ricerca sperimentale.

Come si valuta la propensione al cedimento di un albero o di un ramo?

Ci sono professionisti specializzati che lo fanno, seguendo procedimenti e protocolli specifici, da adattare di volta in volta al caso singolo.

Tra i vari metodi i più noti sono il *Visual Tree Assessment* (VTA), lo *Static Integrated Assessment* (SIA), lo *Static Integrated Method* (SIM) ed altre analisi integrate.

Nel metodo VTA, al momento il più diffuso, la valutazione avviene tramite le fasi successive

seguenti.

Analisi VTA (valutazione visiva dell'albero): indagini visive specializzate consentono di cogliere la presenza di difetti di varia natura e vario tipo e correlarli alle cause che li hanno prodotti. Se i risultati di questa fase di analisi non sono pienamente esaustivi, si possono utilizzare indagini strumentali.

Analisi penetrometriche o ultrasoniche sulla parte aerea della pianta: per valutare le caratteristiche interne del legno e correlarle a possibili cedimenti.

Valutazione finale: alla pianta viene associata una classe di propensione al rischio, vale a dire un grado di possibilità che allo stato attuale si verifichino cedimenti della pianta o di sue parti. Quindi vengono prescritti gli interventi di messa in sicurezza e di monitoraggio nel tempo.

A seconda dei risultati dell'analisi, si può ricorrere ad una potatura di alleggerimento o ad un consolidamento con tiranti, una tecnica ormai molto usata anche in edifici "sensibili"

come scuole o altri edifici pubblici che permette di ridurre al minimo il rischio di danni correggendo buona parte delle condizioni di rischio valutabile. Come rimedio estremo, se non esistono possibilità di recupero, si può arrivare anche all'eliminazione dell'albero o dei rami.

Questa analisi deve essere indicata in un'apposita documentazione, datata, firmata e timbrata dal professionista abilitato (dottore forestale o dottore agronomo).

Si ricorda che il proprietario o gestore è responsabile per i danni a terzi o cose di terzi cagionati dai beni in custodia (ad esempio un albero) secondo i dettami dell'art. 2051 del Codice Civile: *Ciascuno è responsabile del danno cagionato dalle cose che ha in custodia, salvo che provi il caso fortuito.* In caso di danno, quindi, sarà cura del proprietario dimostrare l'eccezionalità e non prevedibilità di tale evento. Le analisi citate ed il rilascio della documentazione costituiscono ad oggi il massimo livello di cura della pianta ed escludono di



Fig. 5 - Alex Shigo (1930-2006), padre dell'arboricoltura moderna, con due suoi allievi.

fatto la negligenza dell'azione di custodia.

Prevenire il danno significa attuare tutti gli interventi specialistici oggi disponibili sul mercato.

Quale può essere il costo di queste operazioni?

L'intervento di potatura e/o di consolidamento su un grande albero può venire a costare meno dell'abbattimento, del successivo smaltimento del materiale e dell'eventuale sostituzione dell'albero. In più dobbiamo considerare il valore monetario della pianta. Gli stessi professionisti adottano vari modelli e procedure per quantificare il valore economico di una pianta, considerandone parametri diretti e indiretti.

A questo va poi aggiunto il valore storico, affettivo, paesaggistico, sanitario, sociale ed ecologico dell'albero.

In alcuni Comuni, che non sono in grado di sostenere per intero i costi della gestione del verde pubblico per motivi di bilancio, gli alberi sono stati "adottati" dai cittadini e da *sponsors* privati, che concorrono alle spese della manutenzione periodica fatta da professionisti.

In conclusione, come risulta dalla precedente intervista, prendersi cura di un albero non è cosa semplice ma richiede molta esperienza, conoscenza e metodi adeguati, se si vuole otte-

nere un risultato che sia efficace dal punto vista estetico, economico, della sicurezza e soprattutto della dignità della pianta. Per le potature ordinarie in ambiente urbano possono essere utilizzate le nuove tecniche di cui si è parlato, evitando così le inutili e dannose operazioni che purtroppo ancora oggi si continuano a vedere. Ci riferiamo alle drastiche capitozzature che riducono gli alberi a "colonne" di legno, o alla sbrigativa disinvoltura con cui vengono talvolta tolti di mezzo alberi che per crescere avevano impiegato decenni – se non secoli – e che ormai facevano parte del patrimonio pubblico, senza che prima ci si sia preoccupati di effettuare la scelta più giusta, magari affidandosi a consulenti esperti per valutare le possibili alternative.

Siti internet di riferimento

International Society of Arboriculture (ISA): www.isa-arbor.com

Società Italiana di Arboricoltura (SIA): www.isaitalia.org

Treeclimbing Maremma: www.treeclimbingmaremma.it

La parola all'immagine

La parola all'immagine



Zerynthia hysipyle (Schulze, 1776)
Foto "Il Graffio", Follonica

Il mimetismo animale: l'arte di nascondersi

Gruppo fotografico "Il Graffio" - Follonica



Ninfa dell'emittero *Ancyrosoma leucogrammes* (Gmelin, 1790)



L'emittero *Aelia acuminata* (Linnaeus, 1758)



Il ragno - granchio *Thomisus onustus* (Walckenaer, 1805)





Ancora il ragno - granchio *Thomisus onustus* (Walckenaer, 1805)





Il coleottero crisomelide *Cassira viridis* Linnaeus, 1758.



Un bruco di lepidottero geometride.



Thomisus onustus su *Orchis anthropophora*



L'Insetto-stecco *Bacillus rossius* Rossi, 1788



La mantide *Ameles decolor* (Charpentier, 1825)



Bruco di Farfalla del Corbezzolo, *Charaxes jasius*



Neoscona adianta Walckenaer, 1802



La mantide *Empusa pennata* (Thunberg, 1815)



Ancora una *Ameles decolor*



La Rana agile, *Rana dalmatina* Fitzinger, 1839



Il Geco comune, *Tarentola mauritanica* (Linnaeus, 1758)

Schede naturalistiche

Schede naturalistiche



Rodilegno bianco o Falena leopardo,
Zeuzera pyrina Linnaeus, 1761
Foto "Il Graffio", Follonica

Le Formiche di Grosseto: un angolo di paradiso minacciato dai pescatori di frodo

Elena Mari *, Luciano Forti **, Sergio Ginanneschi *

* Guida Ambientale Escursionistica Regione Toscana, Circolo sportivo Sub Mania, viale Manetti - Bastione Garibaldi, Grosseto.

** Guida Ambientale Subacquea Regione Toscana, Circolo sportivo Sub Amiata, via San Giovanni 40, Abbadia San Salvatore (SI).

Situate a poche miglia dalla costa grossetana del Parco della Maremma e facenti parte del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano, da sempre le Formiche di Grosseto rappresentano per gli amanti del mare un paradiso ambito.

Le isole appaiono come tre scogli di natura prevalentemente calcarea orientati in maniera crescente secondo la direttrice Nord-Ovest/Sud-Est. Esse occupano una superficie complessiva di circa 1500 m² e la più grande, Formica Grande, ospita un faro funzionante, mentre Formica Media e Formica Terza non sono edificate. Superficialmente gli scogli sono sporadicamente vegetati da specie erbacee ed arbustive tipiche di ambienti di scoglie-

ra delle coste mediterranee; tra queste le più interessanti sono il cosiddetto albero fiamma o malvone maggiore, cioè la malvacea *Lavatera arborea*, considerata rara in Toscana, e la plumbaginacea *Limonium doriae*, endemica locale esclusiva della Formica Grande, la cui popolazione è particolarmente significativa in rapporto alle altre specie toscane del medesimo genere (Pignatti, 1982).

È però sotto la superficie del mare che queste tre isole si manifestano in tutto il loro splendore, diversificandosi per la varietà dei loro habitat. Praterie di Posidonia (*Posidonia oceanica*) precedono pareti di rocce calcaree verticali che sprofondano bruscamente fino a profondità di oltre 100 m,

mentre a nord della Formica Grande si trova una secca a soli cinque metri dalla superficie. Piccole praterie di Posidonia accerchiano le isole sviluppandosi a pochi metri dalla superficie, dove il pendio è più dolce e si ha un maggiore accumulo di sedimenti che facilita l'ancoraggio delle radici. Tra le tante specie che si rifugiano nelle fronde di questa elegante fanerogama sommersa possiamo ricordare l'attinia *Alicia mirabilis*, vermi policheti come lo spirografo (*Sabella spallanzani*), il vistoso bivalve pterioideo *Pinna nobilis* (Fig. 1), seppie (*Sepia officinalis*), coloratissime specie di gasteropodi nudibranchi (come ad esempio quelle del genere *Flabellina*), stelle marine come *Asterina pancerii* e *Astropecten spinulosus*, echinidi o ricci come *Spatangus purpureus*, pesci come donzelle (*Coris julis*) e donzelle pavonine



Fig. 1 - Un esemplare del più grande mollusco bivalve del Mediterraneo, la Nacchera o Pinna comune (*Pinna nobilis*), con la conchiglia interamente ricoperta da spugne (Foto D. Daroczy).



Fig. 2 - Il Grongo (*Conger conger*) e la Murena (*Muraena helena*) trovano spesso rifugio nei medesimi anfratti rocciosi (Foto D. Daroczy).

(*Thalassoma pavo*), salpe (*Sarpa salpa*), sparaglioni (*Diplodus annularis*), scorfani (come quello rosso, *Scorpaena scrofa*) e pesci ago cavallini (*Syngnathus typhle*). Scendendo in profondità l'intensità luminosa diminuisce e gli organismi fotosintetici presenti superficialmente tendono lentamente a scomparire, sostituiti da specie sciafile (amanti del buio). A partire dai 10 m di profondità le pareti si inclinano fino a verticalizzarsi, formando anche piccoli anfratti e cavità all'interno dei quali trovano rifugio cernie brune (*Epinephelus marginatus*), murene mediterranee (*Muraena helena*), gronghi (*Conger conger*) (Fig. 2) ma anche astici (*Homarus gammarus*) ed aragoste (*Palinurus elephas*). La rosa di mare (*Peysonnelia squamaria*), ed altre alghe calcaree come *Lithophyllum stictaeforme*, insieme a numerosi briozoi incrostanti come la trina di mare (*Reteporella grimaldii*), colonizzano le pareti rocciose, mentre gli cnidari margherita di mare (*Parazoanthus axinellae*) (Fig. 3) spiccano con il loro colore aranciato dagli angoli più bui. A profondità maggiori abbondante è la presenza delle gorgonie *Paramuricea clavata* ed *Eunicella singularis*, sulle quali sovente si trovano esemplari della tanto rara quanto bella stella gorgone (*Astrospartus mediterranea*) (Fig. 4).

Voltando le spalle alle coloratissime pareti e guardando verso il blu non è raro scorgere il profilo di grossi pesci quali i predatori barracuda (*Sphyraena barracuda*) (Fig. 5) o branchi di castagnole (*Chromis chromis*).

È proprio la ricchezza di specie che popola i fondali delle isole ad attrarre ogni anno centinaia di appassionati del mare che, muniti di bombole o, più semplicemente, di maschera e boccaglio, "mettono la testa sott'acqua" per ammirare la ricchezza di vita e la moltitudine di colori che le isole Formiche ostentano. Di questo fantastico patrimonio sono ben a conoscenza i circoli sportivi Sub Mania e Sub Amiata, che riuniscono gli appassionati subacquei provenienti sia dalla provincia di Siena che da quella di Grosseto; ogni anno, nel periodo estivo, Guide Ambientali Subacquee afferenti a questi circoli accompagnano centinaia di amanti di questo sport a scoprire le bellezze dei fondali delle Formiche.

La costante presenza di subacquei alle isole permette un continuo controllo del territorio e favorisce una tempestiva segnalazione di eventuali irregolarità. Non di rado, infatti, sono state effettuate chiamate alla Capitaneria di Porto per denunciare attività illegali come la pesca con tra-



Fig. 3 - Le colonie del *Parazohantus axinellae* prediligono le zone poco illuminate ad elevato idrodinamismo (Foto D. Daroczy).



Fig. 4 - Una rara stella gorgone (*Astrospartus mediterraneus*) su rami di gorgonia (Foto L. Forti).

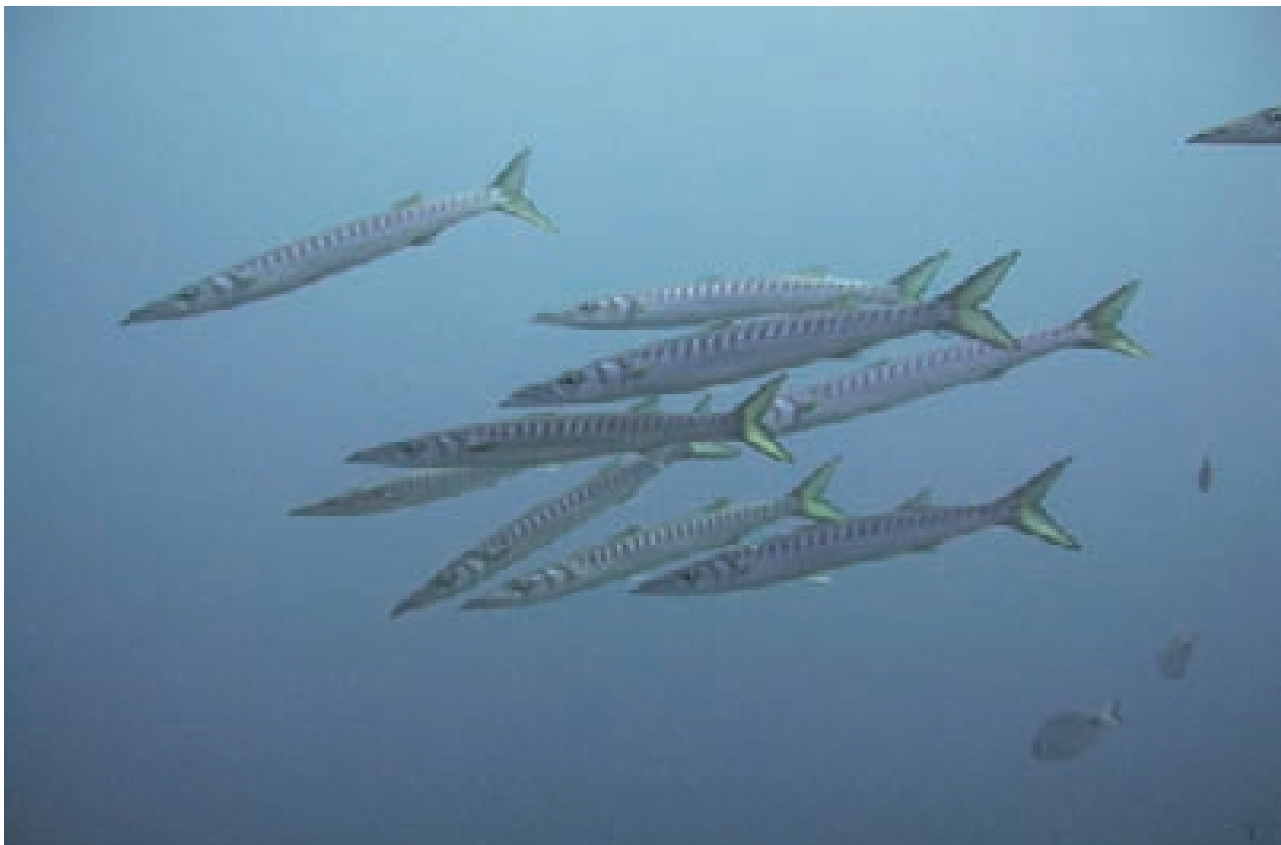


Fig. 5 - Branchi di Barracuda (*Sphyraena barracuda*) sono molto frequenti nelle acque delle Formiche di Grosseto (Foto D. Daroczy).

magli o la presenza di pescatori muniti di bombole. Nonostante queste segnalazioni ed il controllo delle acque da parte della Capitaneria di Porto Santo Stefano, la depredazione dei fondali delle Formiche continua imperterrita.

A minacciarne maggiormente la biodiversità è la presenza di pescatori di frodo del dattero di mare (*Lithophaga lithophaga*), mollusco bivalve della famiglia dei mitili. Questo organismo, del quale è nota la commestibilità già al tempo dei romani, che lo consideravano addirittura un cibo afrodisiaco (Russo & Cicogna, 1992; Mojetta & Ghisotti, 2004; Riedl, 1991), è diffuso e molto comune sulla costa rocciosa dell'infralitorale (dalla superficie sino a 10-15m di profondità). La specie è endolitica, cioè vive totalmente inglobata nelle rocce calcaree entro cavità profonde fino a 20 cm, che il mitile si scava molto lentamente secernendo un liquido a base di acido solforico. La dimensione minima del mollusco considerata commerciabile è 5 cm, e viene raggiunta dopo 15-20 anni. Alla morte del bivalve, le gallerie lasciate libere offrono un microhabitat criptico idoneo ad un gran numero di organismi appartenenti all'*endolithion* quali crinoidi, sipunculidi, echiuridi, Nemertini, Briozoi, Serpulidi, piccoli crostacei anfipodi e decapodi. Superficialmente alle rocce

colonizzate dal dattero si sviluppano invece organismi appartenenti all'*epilithion*: stratocenosi che forma una concrezione biogenica dello spessore di diversi centimetri composta da una grandissima varietà di organismi sessili, vegetali ed animali, fotofili e sciafili, caratteristici delle biocenosi di fondo duro (Russo & Cicogna, 1992).

Per impossessarsi del dattero di mare i pescatori di frodo devono necessariamente esporre i cunicoli, rimuovendo lo strato di vita soprastante e poi frantumando la roccia per diversi centimetri fino a raggiungere il mollusco. Questa tecnica di estrazione prevede l'utilizzo di attrezzi quali piccozze, martelli, scalpelli ed addirittura martelli pneumatici, provocando così la completa desertificazione del substrato; le rocce, infatti, vengono completamente denudate ed escavate (Fig. 6). Maciullati e rimossi, tutti gli organismi dell'*endolithion* e dell'*epilithion* finiscono sul fondo insieme ai frammenti di roccia formando depositi putrescenti. Basandosi sui dati di uno studio svolto lungo la costiera sorrentino-amalfitana e l'isola di Capri, gli autori Russo e Cicogna (1992) hanno calcolato che in sei mesi di attività un datteraio esperto può arrivare a desertificare dai 1.500 ai 2.400 m² di fondale.

Data la gravità degli effetti provocati dalla rac-



Fig. 6 - Porzione di roccia denudata dall'azione dei pescatori di frodo (Foto D. Daroczy).

colta sulla roccia, sulle comunità bentoniche e quindi sull'ecosistema marino, la legge italiana ha vietato la pesca e la commercializzazione del dattero di mare fin dal 1988 (Ministero della Marina Mercantile, Decreto n. 401 del 20 agosto 1988). Nonostante i divieti, però, ancora oggi pescatori di frodo deturpano il paesaggio sommerso delle nostre coste. Il fenomeno appare ancora più grave se lo si colloca all'interno di un'Area Marina Protetta come quella dell'Arcipelago Toscano, dove la natura dovrebbe svolgere il suo corso senza essere disturbata dalle attività umane.

In qualità di circoli sportivi, continuo è il nostro impegno a tutela e valorizzazione turistico-ambientale dei fondali della costa toscana. Esso si esplica sia attraverso la formazione di subacquei consapevoli e rispettosi dell'ambiente, sia attraverso escursioni subacquee guidate in numerosi siti di immersione. Il nostro scopo è quello di avvicinare più persone possibile alla scoperta delle bellezze che l'ambiente marino custodisce e per questo sentiamo la necessità di denunciare simili barbarie nei confronti di quel

patrimonio naturalistico che tanto ci sta a cuore e che siamo chiamati quotidianamente a far conoscere e rispettare.

Tramite questo articolo speriamo dunque di essere riusciti, nel nostro piccolo, a sensibilizzare i lettori, contribuendo così alla salvaguardia del tesoro sommerso delle Formiche di Grosseto.

Testi citati

Mojetta A. & Ghisotti A. (2004) - *Flora e Fauna del Mediterraneo*. Mondadori.

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

Riedl R. (1991) - *Fauna e Flora del Mediterraneo*. Franco Muzzio Editore.

Russo G.F. & Cicogna F. (1992) - *Il dattero di mare, Lithophaga lithophaga e gli effetti distruttivi della sua pesca sull'ambiente marino costiero: problemi e prospettive*. Bollettino dei Musei e Istituti biologici dell'Università di Genova, 56-57, 165-194.



Macaone, *Papilio machaon*
Linnaeus, 1758
Foto "Il Graffio", Follonica

La Paleomatica

Marco Pozzi

Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze della Formazione, via Laura 48, 50121 Firenze
mailto: info@paleomatica.net

Un lavoro paleontologico è l'incarnazione, oggi, di un flusso di lavoro digitale con alla base il fondamento vero e proprio dell'informatica: la base di dati. L'organizzazione di questa 'entità' è il vero nodo per entrambi i mondi e senz'altro la risoluzione dell'uno agevola la risoluzione dell'altro. Ecco che la Paleomatica diventa un'entità indispensabile, addirittura scontata

Introduzione

Oggi fare ricerche in Internet con l'ausilio di un motore di ricerca è diventata un'operazione alla portata di tutti e quando ho cercato la parola *Paleomatica* con tutti gli strumenti a disposizione, senza ottenerne risultati positivi mi sono alquanto sorpreso. Mi sono chiesto come mai esiste, ed è molto diffusa oggi, la *Geomatica* ma non la *Paleomatica*! Che mistero è mai questo? I paleontologi non fanno uso dell'informatica o forse è stato coniato un altro neologismo? Paleoinformatica ha il sapore di preistoria dell'era informatica e viene usato saltuariamente nei paesi anglosassoni senza essere mai entrato nell'uso comune del gergo paleontologico. Anche Paleontologia digitale (*Digital paleontology*) non è praticamente mai usato.

La Paleontologia rappresenta nient'altro che lo studio di un enorme archivio naturale di fossili che necessita di essere decodificato e rappresentato al meglio per poi essere utilizzato sia per una maggiore conoscenza del nostro passato sia per una migliore interpretazione del nostro futuro. Il fatto che il processo di decodifica di questo archivio non sia un lavoro semplice e neanche libero da difficoltà gestionali, comporta che ad oggi sono rari gli strumenti analitici creati proprio per questo scopo. Forse per la verità non vi è neppure una grande volontà di realizzare un progetto di decodifica integrato dove tutte le forze in campo si aiutino e collaborino alla stesura di un protocollo di decodifica utilizzato poi da tutti i ricercatori. Questo piccolo contributo vorrebbe segnare una strada da percorrere vista la difficoltà anche concettuale di affrontare l'argomento.

La Paleomatica

I dati nel campo della ricerca scientifica sono il fondamento di tutto ciò che viene elaborato, pubblicato, reso fruibile per un numero quanto più grande possibile di persone. Tutto ciò che riguarda le fasi iniziali della ricerca scientifica e cioè tutto ciò che ruota intorno alla raccolta dei dati risulta di fondamentale importanza e ciascuno si dovrebbe adoperare al meglio per far sì che questa operazione si possa svolgere nel modo più corretto possibile. Il rigore nell'organizzazione della raccolta dei dati, secondo il modesto parere di chi scrive, è senz'altro la chiave vincente. Oggi abbiamo uno strumento molto potente che fino a pochi anni fa purtroppo i ricercatori non potevano sfruttare, si tratta della possibilità di progettare e realizzare un flusso digitale del lavoro che riesca a monitorare tutte le fasi operative gestendone egregiamente tutta la mole di dati generata. Oggi con un computer riusciamo ad archiviare un numero di dati un tempo impensabile a mano o con i primi prodotti informatici. La potenza di elaborazione è tale che non riusciamo neppure a sfruttarla in pieno. Veramente possiamo fare di tutto ma non senza una buona dose di buon senso e un'ottima capacità di progettazione, caratteristiche che resteranno come prerogativa dell'uomo. Tutto ciò viene confermato anche nel campo delle Scienze Paleontologiche, anzi viene rafforzato visto l'aspetto fondamentale che riveste l'acquisizione di nuovi dati.

La Paleontologia oggi viene sempre più considerata come una scienza legata a procedimenti teorici di ricerca di forme esistite un tempo e ormai scomparse. L'aspetto pratico di questa disciplina viene spesso accantonato per privilegiare scienze assai più moderne come la geomatica o la geologia applicata



Fig. 3 - Tre figure professionali distinte.

sistematici quale definizione di genere e specie alle problematiche inerenti la disposizione stratigrafica. Risulta evidente che sorge la necessità di modelli altamente specializzati per organizzare questo tipo di informazioni. Una modellizzazione che inizia proprio dalla raccolta delle fonti dei dati, siano esse di tipo bibliografico che di tipo fossilifero. È quindi di importanza critica che già il primo passo della ricerca abbia un modello ben preciso da seguire e che sia possibile identificare la fonte per ogni informazione particolare in un insieme di dati e sia data la possibilità di rifiutare le informazioni che riteniamo essere di qualità non accettabile per il nostro modello.

Analizzando l'archivio paleontologico in senso stretto si possono distinguere ben precise fasi durante le quali sviluppare un modello concettuale e monitorare il flusso di lavoro 'digitale' (Fig. 4). Ciascuna fase riveste un ruolo fondamentale all'interno di tutto il percorso della lavorazione e soprattutto può essere modellizzata in modo tale da essere in un secondo momento riprodotta più fedelmente o modificata secondo delle esigenze comunque in evoluzione nel tempo.

Si identificano quattro fasi temporalmente successive (Fig. 4) che possono essere così schematizzate:

- campionamento;
- laboratorio;
- analisi dei dati;
- archiviazione dei dati.

La prima fase riguarda l'acquisizione dati sul terreno o in laboratorio se si tratta di campioni di una serie già prelevata dal suo luogo di origine.

Si tratta senza dubbio della fase più delicata di tutto il lavoro e quindi dobbiamo prestarvi la massima attenzione. Dobbiamo anche munirci di tutte le attrezzature che la tecnologia ci offre per minimizzare gli eventuali errori e fare in modo, sempre grazie all'ausilio della tecnologia di settore, che il lavoro possa essere quanto più riproducibile possibile. Quest'ultima caratteristica è di assoluto rilievo dal momento in cui si presenti l'eventualità di dover ripetere alcuni passaggi della lavorazione (nuovi preparati di laboratorio, un campionamento più accurato) che quindi non possono discostarsi troppo dalla lavorazione precedente per non creare problemi poi nella fase di analisi dati. Dal lato squisitamente informatico, in questa fase si possono sintetizzare i seguenti momenti:

- archiviazione di tutto il materiale digitalizzato sul terreno;
- estrazione di tutti i metadati raccolti durante il campionamento;
- archiviazione degli stessi mediante apposite maschere di raccolta dati.

È facile annoiarsi in questa fase della lavorazione che richiede tempo e pazienza, ma indubbiamente in un secondo momento questo tempo, se speso bene, potrà evitare noie ben più grandi e regalare possibilità di rielaborazione altrimenti impossibili.

La seconda fase comprende tutte le metodologie e le applicazioni di laboratorio tramite le quali i campioni acquisiti nella fase precedente vengono preparati per lo studio. Anche in questa fase sono di primaria importanza l'accuratezza e la precisione del lavoro, che nel caso di un approccio informatico si traducono in riproducibilità e fruibilità. I progressi che l'informatica ha avuto in questi ultimi anni hanno permesso di gestire la fase di laboratorio in modo molto più proficuo con strumentazioni e applicazioni avanzate al fine di monitorare al meglio tutte le fasi di avanzamento del lavoro, ricevere informazioni dagli strumenti in uso (con l'acquisizione in tempo reale di dati e metadati descrittivi della procedura in corso) e proporre immediatamente eventuali correzioni. Grazie a questi nuovi approcci alla fase di laboratorio saremo in grado di creare nuove informazioni da aggiungere a quelle provenienti dal materiale in oggetto. In passato il rischio maggiore era proprio quello di distruggere informazioni utili, mai più rintracciabili e delle quali non si era mai venuti a conoscenza (quindi se ne ignorava totalmente l'esistenza). Oggi il monitoraggio elettronico degli

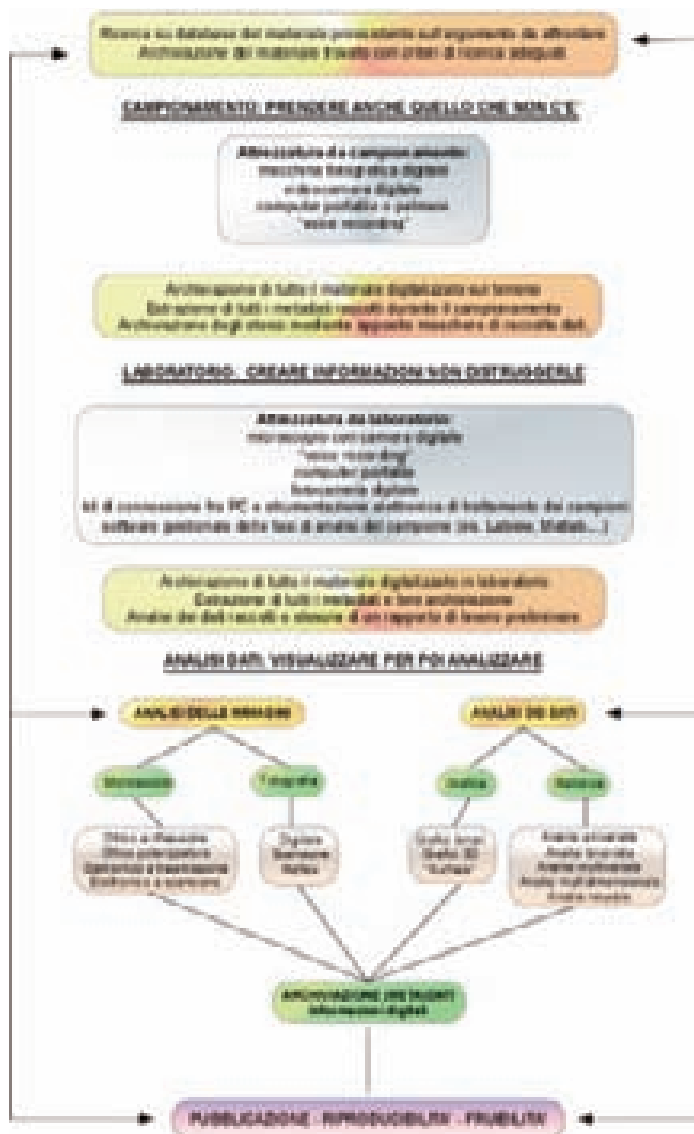


Fig. 4 - Flusso di lavoro paleontologico digitale dal campionamento all'archiviazione.

strumenti utilizzati per la preparazione dei campioni permette di avere, direttamente dallo strumento, tutta una serie di informazioni prima sconosciute e utilissime in caso di dover riprodurre completamente o in parte il lavoro svolto. Non di rado la strumentazione ha la possibilità di connettersi ad un computer e la trasmissione dei dati è generalmente gestita da programmi con interfacce grafiche amichevoli che permettono anche a neofiti di poter gestire al meglio tutto il flusso di lavoro. Sono state individuate alcune aree di maggiore interesse con le quali confrontarsi durante la fase della organizzazione concettuale del lavoro:

- archiviazione di tutto il materiale digitalizzato in laboratorio;
- estrazione di tutti i metadati e loro archiviazione;
- organizzazione concettuale della strumentazione elettronica interfacciata con il computer ed i programmi gestionali;

- analisi dei dati raccolti e stesura di un rapporto di lavoro preliminare.

Durante la fase di laboratorio esiste la tendenza a tenere i tempi stretti per cominciare quanto prima l'analisi del materiale ma non esiste un errore più grave. L'accuratezza non basta mai e la cura nel creare un archivio ben organizzato dovrebbe essere al primo posto nella scala delle priorità.

La terza fase riguarda il vasto mondo dell'analisi dei dati. Parlo di vasto mondo in quanto si tratta di una materia assai estesa che comprende un grosso numero di discipline scientifiche fisico-matematiche applicate al trattamento dati. Questa fase, storicamente più legata all'informatica ed a tutte le tecniche di indagine al computer, non ha modo di essere minimamente attendibile se le due fasi precedenti non sono state condotte con la dovuta precisione. Quindi dovrebbe esser cura di chi gestisce le fasi del lavoro, avere un occhio di riguardo per le prime due fasi non tralasciandole fin dalla progettazione concettuale. In questa terza fase sono racchiuse tutte le svariate tecniche di analisi dati dalle più semplici (una visualizzazione bidimensionale dei dati) alle più complesse (analisi multidimensionale e neurale). Proprio perché vi è una complessità crescente, talvolta non siamo in grado di gestire correttamente la mole dei dati da analizzare. Un consiglio è quello di non addentrarsi mai in un campo ove non siano chiare almeno le funzioni che stiamo

per utilizzare e che potrebbero proprio per questo recare danni interpretativi irreparabili, oltre a nascondere eventuali problemi dovuti ad una scarsa cura delle fasi preparatorie iniziali. Non è questa la sede per una disquisizione sulle tante tecniche di analisi dei dati: mi preme solo osservare come queste vengano spesso 'violentate' per scopi non proprio scientifici, ovvero forzate per ottenere o quanto meno avvicinarsi agli obiettivi prefissati. Ecco che un modello paleontologico in grado di garantire e testimoniare un preciso flusso di lavoro potrebbe favorire anche la qualità del lavoro stesso. Quando una serie di passaggi devono essere dichiarati e resi espliciti attraverso un modello, ecco che taluni passaggi non verranno più tanto facilmente sottovalutati o addirittura saltati per comodità o pigrizia. In effetti mi piace pensare al modello paleontologico anche come un garante, un controllore di qualità del lavoro che dopo averlo organizzato lo preserva

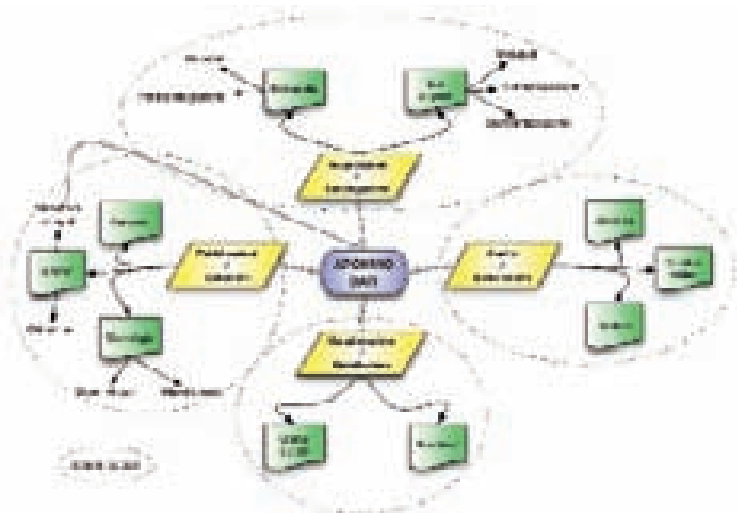


Fig. 5 - Modello concettuale integrato della Paleomatica.

anche e soprattutto da insidiosi passaggi ‘a vuoto’.

Eccoci infine alla quarta fase del lavoro, l’archiviazione di tutti i dati raccolti lungo la strada. È una fase di fatto sempre attiva e comune anche a quelle precedenti. L’archiviazione può e in certi casi deve essere suddivisa all’interno delle fasi del lavoro per far sì che la strutturazione dell’archivio sia quanto più appropriata possibile. Poi in un secondo momento o come chiusura di tutto il lavoro può essere costruito un archivio generale sintesi di tutti gli altri. Questo può essere egregiamente rappresentato dal modello paleomatico integrato (Fig. 5) che ne sintetizza il modello concettuale.

I metadati

Un discorso a parte meritano i metadati. Questi rappresentano le ‘informazioni delle informazioni’ e sono sempre più diffusi e più importanti. Nel circuito della comunicazione scientifica in particolare i metadati possono assumere, all’interno di piattaforme comuni, differenti connotazioni a seconda del ruolo al quale essi sono preposti o in relazione alle funzioni che essi svolgono. I metadati sono qualcosa di mobile nel tempo e nello spazio: infatti, essi continuano ad accrescersi dentro il sistema in cui dimorano durante il ciclo di vita dell’oggetto informativo con il quale si relazionano. I metadati, intesi in senso moderno, non possono essere considerati come ‘definitivi’, in quanto una volta creati non rimangono statici, ma vengono modificati nel corso del tempo e qualche volta possono anche essere disposti in punti differenti lungo l’arco della vita di una risorsa, soprattutto se digitale. Ad oggi vi sono metadati che possono essere creati automaticamente dalla macchina e possono essere intercon-

nessi attraverso complesse relazioni che creano legami tra risorse differenti.

I metadati assumono importanza strategica nello sviluppo dei sistemi di informazione digitale in rete e in tale contesto ogni previsione conduce ad un concetto di metadato ampio ed allargato. Per capire meglio il concetto di metadato risulta utile frazionarlo in categorie distinte che riflettono gli aspetti chiave delle funzionalità del metadato (schema metadati, De Robbio, 2001).

I metadati devono quindi essere visti come utensili per gli autori e per la comunità scientifica, come strumenti in grado di conformarsi all’interno di una piattaforma adatta alla regolazione di processi di validazione.

Tali processi di validazione possono essere attuabili attraverso il supporto che le biblioteche, nel ruolo di *service providers*, possono offrire ai creatori di contenuti. Nell’ambito strettamente paleontologico i metadati sono ad oggi utilizzati in modesta quantità e direi qualità. Non vi è interesse nell’adottare questa nuova frontiera dell’informazione per ottimizzare i percorsi della ricerca. Invece non manca la quantità di metadati prodotti in ambito paleontologico, basti pensare al proliferare dell’uso di apparecchi fotografici digitali, microscopi con acquisizione delle immagini digitali, finanche le attrezzature di laboratorio la cui componentistica elettronica produce una serie di metadati interessantissimi da analizzare ma soprattutto da archiviare (con un modello concettuale ben preciso) per poi poter essere recuperati nel tempo senza alcun problema di deperimento.

Conclusioni

Il concetto fondamentale elaborato fino a questo punto vorrebbe essere semplicemente quello di rendere la procedura di schematizzazione concettuale consueta, normale, parte integrante e irrinunciabile di un lavoro, senza la quale non si comincia e non si finisce, con la quale ci si confronta continuamente e si confrontano gli altri lavori. Per fare tutto ciò sarebbe più agevole avere a che fare con uno *standard* ovvero con un modello di riferimento adatto a fornire le basi di partenza indispensabili per iniziare e portare avanti un proprio modello paleomatico. La necessità dell’introduzione di uno standard nasce nel momento in cui mettiamo bene a fuoco il concetto di interoperabilità cioè la possibilità di prendere componenti sviluppate in un ambiente con determinati stru-

menti o piattaforme ed usarli in altri ambienti con un gruppo diverso di strumenti o un'altra piattaforma di sviluppo. La creazione di un modello paleomatico standard di riferimento potrebbe anche essere gestita a livello internet con un motore di calcolo basato su algoritmi neurali che possa essere in grado di fornire un *output* dinamico, il migliore in quel momento considerati tutti gli input ricevuti. Il risultato sarebbe costituito da un modello paleomatico generale, caratterizzato dalla struttura a macro aree senza arrivare comunque al dettaglio del singolo lavoro (singolo input). Sarebbe una procedura molto interessante anche perché aumenterebbe la fruibilità dello standard stesso attraverso sistemi di reti globali e locali per tutti coloro che volessero anche solo consultarlo o prenderlo a modello per il proprio lavoro. Potrebbero nascere veri e propri depositi (*repository*) informatici di modelli paleomatici affini o ispirati allo standard, dove ciascuno potrebbe attingere per il proprio uso e poi lasciare un commento di *feedback* personale in vari formati (commenti, proposte, nuovi modelli parziali sviluppati).

Per ciascun modello paleomatico sarà sviluppato un particolare *set* di metadati che si ispireranno a quelli imposti dallo standard (autore, titolo, numero versione, obiettivi dichiarati, area interessata, strumenti utilizzati, ...). Con una buona organizzazione del lavoro di gestione dei modelli paleomatici proposti potremmo gestire al meglio anche gli schemi concettuali parziali (per esempio di ciascuna disciplina afferente alla Paleontologia) considerati anch'essi dinamicamente (in progresso ed evoluzione continua grazie all'approccio di calcolo neurale), i quali poi confluiranno in uno schema concettuale integrato globale che opererà da standard e sarà garante di una buona qualità dei dati, loro veridicità, fruibilità e riproducibilità.

Testi di riferimento

Batini C. (2008) - *Qualità dei dati*. Springer.

Batini C. et alii (2002) - *La progettazione concettuale dei dati*. Franco Angeli.

Fini A. & Vanni L. (2004) - *Learning object e metadati*. Erickson.

Gabucci A. (2005) - *Informatica applicata all'archeologia*. Carocci. (Le Bussole).

Gee H. (2006) - *Tempo profondo*. Einaudi.

Gomasasca M.A. (2004) - *Elementi di geomatica*. AIT.

Gonzales R.C. & Woods R.E. (2008) - *Digital image processing*. Pearson Prentice Hall.

Green O. R. (2001) - *A Manual of Practical Laboratory and Field Techniques in Palaeobiology*. Kluwer Academic Publishers.

Hammer O. & Harper D. (2006) - *Paleontological data analysis*. Blackwell.

Lane R.H., Steininger F.F., Kaesler R.L., Ziegler W. & Lipps J. (eds). *Fossils and the future*. Senckenberg. Buch 74.

Mascione C. (2006) - *Il rilievo strumentale in archeologia*. Carocci. (Le Bussole).

Pessa E. (2004) - *Statistica con le reti neurali*. Di Renzo.

Pozzi M., Malmgren B. & Monechi S. (1999) - *Application of artificial neural network to nannoplankton data*. Abstract Poster Proceedings Codenet workshop.

Pozzi M., Malmgren B. & Monechi S. (1999) - *Application of artificial neural networks to nannoplankton data for sea surface-water temperature predictions and paleoceanographic reconstructions*. I° Convegno Nazionale delle Scienze del Mare "Diversità e Cambiamento". Ischia, 11-14 Novembre 1998

Pozzi M. (1999) - *Integrazione, analisi e pubblicazione di basi di dati: archivi di tipo relazionale e applicazioni di reti neurali a dati paleontologici*. VI Workshop GIAST "Informatica Applicata alle Scienze della Terra", Sansepolcro 14-16 Settembre 1999.

Pozzi M., Malmgren B. & Monechi S. (2000) - *Sea surface-water temperature and isotopic reconstructions from nannoplankton data using artificial neural networks*. *Paleontologia Electronica*, 3 (2), <http://palaeo-electronica.org>

Pozzi M. (2001) - *Integration, analysis and publication of "PALEO" data: relational databases and neural network applications to paleoclimatic data*. Poster Session of European Geophysical Society. 26th General Assembly, Nice, France, 25-30 March 2001.

Pozzi M. (2002) - *Image and data-analysis tools for paleoclimatic reconstructions*. Poster Session of European Geophysical Society. 27th General Assembly, Nice, France, 22-26 April, 2002.

Pozzi M. (2003) - "Pa.N.D.A." *A revolutionary client/server scientific application for network paleometadata analysis and visualization in real time*. Poster Session at EGS-AGU-EUG Joint Assembly in Nice, 7-11 April 2003.

Pozzi M. (2005) - *Paleontological operational digital protocol*. Poster Session of Second European Geoscience Union Congress, Wien, Austria, 24-29 April, 2005.

Pozzi M. (2008) - *PAL@EOMATICA Informatica applicata alle Scienze Paleontologiche. Fondamenti e modelli concettuali*. Editrice UNI Service.

Wezel F.C. (2004) - *Compulsare gli archivi storici della Terra*. Bollati Beringhieri.

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; 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.