Anno III - 2006

Etruria*natura*

una finestra sul territorio

Periodico scientifico-divulgativo della Accademia dei Fisiocritici

Anno III - 2006

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
Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Università degli Studi di Siena, Via P. A. Mattioli, 4 - Siena; tel: 0577 232864
ROBERTO FONDI
Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena, Via Laterina, 8 - Siena; tel.: 0577 233824
GIOVANNI GUASPARRI
Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Siena, Via Laterina, 8 – Siena; tel.: 0577 233956
ROBERTO MAZZEI
Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena, Via Laterina, 8 - Siena; tel.: 0577 233801
LUANA PAULESU
Dipartimento di Fisiologia Università degli Studi di Siena, Via A. Moro - Siena; tel.: 0577 234224

In copertina
Panorama collinare della zona di Ville di Corsano (Si)
IV di copertina
Coltivazioni in aree a calanchi dei dintorni di Asciano (Si)
Foto del gruppo fotografico "Il Graffio" di Follonica

Impaginazione e stampa
Edizioni Cantagalli
Via Massetana Romana, 12 - 53100 Siena
tel. 0577 42102 - fax 0577 45363

Pubblicazione realizzata con il contributo dell'Amministrazione Provinciale di Siena

Sommario

Presentazione

La pagina dell'Accademia

8 La Sezione Geologica del Museo di Storia Naturale: catalogazione e riordinamento delle collezioni di minerali e rocce
Ferruccio Farsi, Giovanni Guasparri

Contributi

14 Comunicare la Scienza non è più un *optional*
Giovanni Carrada

20 La "voragine" del Bottegone
Valentina Di Natali, Mauro Coltorti, Matteo Picozzi, Dario Albarello

24 Passi verso una fisica evolutiva
Enzo Tiezzi, Angelo Facchini, Riccardo M. Pulzelli, Federico Rossi

38 Vezzi e magie delle orchidee spontanee
Alessio Pellegrini

42 Evoluzione del pensiero geologico in Europa e in Toscana dalle origini a tutto il XIX secolo
Renzo Mazzanti

55 Il Rifugio WWF Lago di Chiusi
Barbara Anselmi, Andrea Benocci, Francesca Casini

60 I dipinti murali duecenteschi sotto il Duomo di Siena: dal territorio toscano alla tavolozza degli artisti medievali
Francesca Droghini, Giovanni Guasparri, Sonia Mugnaini, Andrea Scala

Il punto della situazione

74 Il mare della Maremma rimane privo di difesa?
Paolo Fanciulli

84 Radicondoli: un paese che incontra la geotermia
Luciano Cillerai

Orizzonti

88 "Dalla cava alla brocca": un progetto ludico-scientifico sulla cottura della ceramica con mezzi di fortuna (campagne di lavoro 1995-2000)
Michele Gregorkiewitz, Sonia Mugnaini, Barbara Anselmi

96 Una prospettiva di studio per l'Isola di Montecristo e la sua zona costiera

Luca Bracchini, Arduino Massimo Dattilo, Alessandro Donati, Silvia Focardi, Steven Arthur Loiselle, Stefania Mazzuoli, Antonio Tognazzi, Claudio Rossi

100 L'arborario, prima *Baumbibliotheke* della Toscana meridionale
Mario Morellini, Annibale Parisi

103 Il progetto Falco pescatore [*Pandion haliaetus* (Linné)] nel Parco Regionale della Maremma
Andrea Sforzi

Io, il lettore

108 Trekking... che passione! (la natura con i "sei" sensi)
Lettera firmata

La parola all'immagine

112 Dal lavoro dell'uomo, la magia di linee, spazi e colori nella terra toscana
Gruppo fotografico "Il Graffio"

Schede naturalistiche

118 L'acanto, ovvero quando la natura si incontra con il mito, con l'arte e con la scienza
Marcello Pacciani

122 Ritrovamento di minerali con "terre rare" e torio nella Montagnola Senese
Cesare Betti, Giancarlo Pagani, Renzo Regoli

128 La riproduzione di una popolazione di Anfibi nella provincia di Siena: il Tritone apuano (*Triturus alpestris apuanus*)
Silke Jantra, Elisa Bigliardi, Rossana Brizzi, Luana Paulesu

Etruri@natura

132 L'informazione ambientale istituzionale in Toscana
Francesca Cagnani, Silvia Aurigi

Presentazione

Presentazione

Cari Lettori,

***Etruria**natura inaugura il suo terzo numero sulla scorta di un notevole bagaglio di consensi. La richiesta registratasi in ambito territoriale dimostra ampiamente quanto la rivista si stia radicando nella Toscana meridionale quale veicolo conoscitivo capace di penetrare capillarmente nella società. Questo generale consenso è facilmente riscontrabile attraverso il gran numero di articoli per le varie rubriche che ci sono pervenuti. A ciò, in ogni caso, hanno contribuito anche gli incontri di presentazione della rivista, nei suoi contenuti attinenti alle problematiche territoriali di gestione ambientale e di sviluppo, organizzati a Siena, Grosseto e Follonica.*

Pur non nascondendo evidenti difficoltà che ancora si riscontrano nella comunicazione scientifica, questo numero sembra fare un ulteriore passo avanti verso la realizzazione delle finalità che ci siamo preposte. Come sempre, la rivista continua a dare la parola a tutti perché "imparino a parlare per farsi capire", in un'ottica di corretta interpretazione e valorizzazione del territorio in tutti i suoi aspetti. Contribuire al miglioramento della rivista, quindi, significa in gran parte potenziare la sua capacità comunicativa; per questo insistiamo nel chiedere agli Autori chiarezza di intenti e di esposizione, tenendo presente che l'arte del comunicare si puo' apprendere.

*Spingendo ancora in avanti questo discorso, riteniamo che **Etruria**natura possa rappresentare un utile "campo di lavoro" per coloro che sono interessati a migliorarsi nella comunicazione.*

Nel nuovo numero avrete modo di incontrare una varietà di temi su aspetti significativi del patrimonio naturale e del mondo scientifico.

La rubrica "Contributi" offre: un valido ed attualissimo messaggio sul dialogo fra Scienza e Società (Giovanni Carrada); uno studio dell'imponente e repentino sprofondamento verificatosi nella località "Il Bottegone" del Comune di Grosseto (Valentina Di Natali e Coautori); una proposta di lettura della chimica-fisica dei sistemi viventi e della biosfera alla luce della termodinamica ecologica o "ecodinamica" (Enzo Tiezzi e Collaboratori); una fugace ma smagliante escursione nel paese delle orchidee selvatiche (Alessio Pellegrini); un affresco del pensiero geologico toscano nella sua evoluzione da Stenone fino a tutto il XIX secolo (Renzo Mazzanti); un esame dettagliato dell'importante "garzaia" del Lago di Chiusi (Barbara Anselmi e Coautori); una riscoperta, nelle pitture murali duecentesche recentemente rinvenute sotto il Duomo di Siena, dei molteplici materiali geo-mineralogici diffusi nel nostro territorio (Francesca Droghini e Coautori).

Negli articoli della rubrica "Il punto della

situazione" potrete avere importanti ed ineludibili motivi di riflessione, ma anche modo di constatare quale sia lo spirito e la condotta della rivista. Troverete infatti il coraggioso segnale d'allarme di Paolo Fanciulli – più noto a Talamone come "Paolo il pescatore" – relativo alla pratica della pesca a strascico illegale, cui purtroppo fa riscontro un'apparente indifferenza delle autorità competenti; ma anche l'articolo di un Sindaco della Provincia di Siena (Luciano Cillerai) nel quale è ribadito come le civiche amministrazioni non possano disattendere i principi di sostenibilità dei territori cui esse sono preposte.

E non finisce qui, considerando le idee e le prospettive che si aprono nella rubrica "Orizzonti": si va dalla produzione di ceramiche attraverso le tappe percorse da culture primitive (Michele Gregorkiewicz e Collaboratori), alla possibile salvaguardia ambientale connessa ad un progetto di analisi delle proprietà ottico-chimico-fisiche delle incontaminate acque marine dell'Isola di Montecristo (Luca Bracchini e Coautori), alla suggestiva proposta didattico-naturalistica denominata "arborario" (Mario Morellini e Annibale Parisi) ed alla reintroduzione del Falco pescatore nel Parco Regionale della Maremma (Andrea Sforzi). Per esigenze di spazio, non possiamo dilungarci sui pur non meno validi contenuti delle altre rubriche. Ci limitiamo soltanto ad invitarvi ad ammirare le splendide "pitture fotografiche" degli amici follonichesi del Gruppo "Il Graffio" ed a prendere atto dell'inaugurazione della nuova rubrica "Etruri@natura", la quale informerà di volta in volta su argomenti connessi con il patrimonio naturale reperibili nel web.

Il Comitato editoriale

La pagina dell'Accademia

La pagina dell'Accademia

Ophrys bertolonii Moretti
Foto "Il Graffio", Follonica

La Sezione Geologica del Museo di Storia Naturale: catalogazione e riordinamento delle collezioni di minerali e rocce

Ferruccio Farsi, Giovanni Guasparri***
*Conservatore della Sezione Geologica del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici
**Sovrintendente alla Sezione Geologica del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici

"Il nostro patrimonio – scrive Salvatore Settis – non è un'entità estranea, calata da fuori, ma qualcosa che abbiamo creato nel tempo e con cui abbiamo convissuto per generazioni e generazioni, per secoli e secoli; non un gruzzolo nel salvadanaio, da spendere se occorre, ma la nostra memoria, la nostra anima".

Le parole di Settis si adattano pienamente al Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici, ai suoi connotati, alla sua storia. Il museo riflette nelle sue collezioni il territorio che lo circonda e sin dal 1691, anno della fondazione dell'Accademia, della quale il museo è parte integrante, ha svolto con continuità una funzione sociale attraverso la divulgazione scientifica ed il coinvolgimento diretto dei cittadini nelle attività culturali dell'Accademia che proprio nel museo trovano la massima espressione. Questi valori devono essere tenuti in debito conto nella conservazione e nella valorizzazione del patrimonio museale e in questa direzione stiamo operando con il preciso obiettivo di offrire una lettura delle collezioni rispettosa del loro significato storico e scientifico.

Il Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici, oggi articolato in tre Sezioni (Geologica, Zoologica e Anatomica), si è costituito nel tempo essenzialmente attraverso donazioni e si annovera, quindi, tra i musei di tipo evergetico. L'allestimento in antiche vetrine mantiene intatto il carattere ostensivo sette-ottocentesco. Molti esemplari sono contenuti in originali supporti quali vasetti, vaschette, tubetti o ampolline di vetro di antica manifattura.

La Sezione Geologica comprende collezioni di minerali, rocce e fossili a carattere essenzialmente regionale. La nostra attenzione è da alcuni anni rivolta alle collezioni di minerali e rocce per la messa a punto e la realizzazione di un progetto di riordino ostensivo e di catalogazione. Le collezioni di maggior rilievo coinvolte nel progetto sono: la Collezione generale di minerali, le Collezioni di minerali e relativi prodotti metallurgici di varie miniere della Toscana meridionale, la Collezione delle Terre Bolari naturali e manufatte del Monte Amiata, la Collezione di Marmi Antichi. Questo progetto è ora nella fase esecutiva dopo la fase di raccolta degli elementi essenziali per la sua realizzazione. Per quanto riguarda la collezione di Marmi Antichi, è già fruibile il relativo catalogo *on-line* all'indirizzo www.musnaf.unisi.it/marmi.asp.

Prima di entrare nel merito degli aspetti qualificanti del progetto, è opportuno fare un breve *excursus* della storia più recente di queste collezioni. Tre sono le fasi da ricordare:

1) negli anni 1935-1938 il Prof. Giulio Gori, in qualità di direttore del Museo Mineralogico, realizzò un'opera che costituisce tutt'oggi un punto fondamentale di riferimento: un inventario in sei grandi volumi manoscritti in cui è riportata la descrizione di 7001 esemplari raggruppati in 35 collezioni di Mineralogia, Geologia e Paleontologia. L'opera del Prof. Gori si completò con il riordino e la riclassificazione di tutto il materiale museale di sua competenza. Un difetto di questo notevole lavoro (ma di difetto si può parlare solo in relazione agli imprevedibili eventi successivi) è quello di non aver posto il numero d'inventario direttamente su ogni campione, così come già esisteva per alcuni esemplari, sin dall'origine della loro acquisizione. Ciò avrebbe sicuramente facilitato le successive fasi di riordino;

2) nel periodo che va dal secondo conflitto mondiale fino al 1965, per mancanza di mezzi e personale, i locali dell'Accademia furono tenuti chiusi; si verificò una pressoché totale sospensione delle attività e un completo abbandono delle collezioni, al punto da perdere, per molti esemplari, l'associazione del singolo campione con la corrispondente basetta di supporto che ne porta gli elementi identificativi. Nel 1965 l'Accademia cedette in uso una parte dei locali e del terreno di sua proprietà all'Università; con questa venne stipulata una convenzione che permetteva l'esecuzione di vari lavori di ristrutturazione, il principale dei quali si concretizzò nella riapertura del chiostro togliendo le tamponature dalle arcate e sostituendole con vetrate. Il 13 gennaio 1972, con una cerimonia ufficiale, venne riaperto al pubblico il museo dopo un restauro delle vetrine espositive e un primo riassetto ostensivo. Alla collezione generale dei minerali fu data una stima del valore e preso nota degli esemplari mancanti;

3) grazie al supporto finanziario della Regione Toscana, il 30 novembre 1991, in occasione della celebrazione del terzo centenario della fondazione dell'Accademia, oltre alla "Guida ai Musei", furono presentati pubblicamente gli interventi di

Pietra da forni con relativa etichetta preesistente sul supporto
Foto di F. Cancelli.

ristrutturazione delle collezioni della Sezione Geologica. I lavori principali furono: a) restauro e manutenzione delle vetrine corredate da un nuovo impianto di illuminazione; b) controlli classificativi solo in minima parte supportati dalle necessarie analisi di laboratorio; c) nuova etichettatura eseguita mantenendo la preesistente etichetta originale in una parte non visibile della basetta di supporto del campione. Quest'ultimo lavoro si era reso necessario poiché molti erano i campioni che, oltre alle evidenti carenze classificative, avevano l'etichetta manoscritta illeggibile.

Dal momento della riapertura al pubblico del museo, le attività dell'Accademia sono riprese con fervore sempre crescente e numerose sono state le iniziative legate al museo in forma di convegni o mostre temporanee. In tempi assai recenti, il recupero dei locali dati in uso all'Università, accompagnato da importanti lavori di ristrutturazione, ha ampliato gli spazi da dedicare alla esposizione di collezioni con finalità didattiche. Più in generale, l'offerta didattica del museo si sta ogni anno arricchendo con nuove proposte e nuovi percorsi museali, prevalentemente indirizzati alle scuole di ogni ordine e grado.

Con riferimento alle fasi delineate della storia del museo, da un lato si può affermare che il periodo postbellico incise sensibilmente nell'alterare la situazione conservativa delle raccolte di minerali e rocce, dall'altro l'impegno di riordino generale, realizzato nella seconda e terza fase, fu notevole e sotto molteplici aspetti pregevole ma con carenze sul piano museologico in quanto non fu compiutamente rispettato il valore storico delle collezioni. Nel necessario lavoro di controllo classificativo e rietichettatura, a molti campioni fu infatti attribuita la nomenclatura al momento vigente che, nella maggioranza dei casi, non era consona a quella originaria. Ciò non vuol dire che il lavoro di riclassificazione di un minerale o di una roccia sia stato

Una parte della collezione in ostensione.
Foto di F. Cancelli.

inutile, è stato anzi essenziale soprattutto ai fini della catalogazione di una collezione (proprio a questo scopo, negli ultimi anni è stata effettuata una dettagliata revisione classificativa che, insieme alle informazioni desunte dalla bibliografia più recente, ha comportato l'esecuzione di circa 200 analisi diffrattometriche su campioni di minerali con l'intento di acquisirne i giusti connotati identificativi). Rimaneva tuttavia in piedi la necessità di recuperare il valore storico delle collezioni. Ciò è stato fatto innanzitutto con accurate ricerche nell'archivio storico dell'Accademia. In molti casi è stato così possibile risalire alle originarie denominazioni degli esemplari attraverso i documenti di acquisizione delle collezioni, spesso così dettagliati da potersi considerare vere e proprie catalogazioni *ante litteram*. Una volta quindi eseguito il lungo lavoro preliminare che ha reso disponibili tutti gli elementi identificativi di ciascun esemplare (complessivamente circa 2000 campioni), si è posto il problema di come in concreto conciliare, nell'ostensione e nella catalogazione delle collezioni, il pieno recupero delle denominazioni storiche degli esemplari con la nomenclatura accreditata e coerente con gli attuali criteri classificativi. Il problema può risolversi con due diverse modalità descrittive dei campioni, facendo uso anche di accorgimenti grafici, a seconda che si tratti di ostensione o di catalogazione. Riportiamo qui di seguito, per ciascuno dei due aspetti, due esempi concreti che mostrano, tra l'altro, come le denominazioni originarie (esempio b) spesso riportino l'appellativo con il nome del naturalista che ha studiato la roccia o il minerale in questione (nel caso specifico: Giorgio Santi, Pienza 1746 – Siena 1822), o riferimenti storici dell'uso antico di un materiale (esempio b').

Etichetta in ostensione

a) attuale iscrizione: **Lava trachidacitica**
Stabbiati, Castel del Piano (Grosseto)

b) iscrizione che si intende mettere nella nuova etichetta: **Lava limacciosa del Santi** (*trachidacite*) Stabbiati, Castel del Piano (Grosseto)

a') attuale iscrizione: **Arenaria grossolana**
Spannocchia, Montagnola Senese

b') iscrizione che si intende mettere nella nuova etichetta: **Pietra da forni** (arenaria grossolana) Spannocchia, Montagnola Senese.

Dati identificativi nel catalogo.

Per gli stessi due campioni il catalogo, insieme ad altri caratteri significativi, riporterà le diciture con le denominazioni invertite, come giusto che sia in una catalogazione al passo con le conoscenze attuali, pur con il mantenimento della connotazione storica:

Trachidacite *(lava limacciosa del Santi)*
Stabbiati, Castel del Piano (Grosseto)

Arenaria grossolana *(pietra da forni)*
Spannocchia, Montagnola Senese

Altri casi riguardano la sostituzione della originaria nomenclatura con quella attualmente accreditata (per es. *ematite* al posto di *ferro oligisto*)

Sempre in sintonia con il recupero del valore storico, è in progetto di riservare una cura particolare all'ostensione di alcune collezioni il cui significato può essere compreso ed apprezzato solo se la dicitura originaria di ogni campione è riportata nella sua interezza. Ciò si può concretizzare con la realizzazione di opportuni pannelli che risolvano il problema del limitato spazio offerto dalle etichette attualmente esistenti. Un esempio al riguardo è fornito dalla Collezione dei Minerali greggi e lavorati delle miniere di Capanne Vecchie e Poggio Bindo presso Massa Marittima di cui qui di seguito viene riportato un estratto con le diciture di origine. Ogni esemplare è corredato da una dettagliata descrizione, coerente con il gergo metallurgico dell'epoca, redatta dallo stesso ingegnere minerario, direttore della miniera di provenienza, che ha formato e donato la raccolta. Questo tipo di collezione merita dunque un posto di primo piano nella ostensione del museo perché di assoluto valore archeologico, o meglio, archeominerario: la citata collezione, in particolare, si compone di campioni rappresentativi dei vari stadi del procedimento metallurgico di estrazione dei metalli puri da quelli grezzi, oltre che di esemplari del materiale utile per la coltivazione di miniere ormai dismesse, situate in un territorio come la Toscana meridionale, la cui grande vocazione mineraria era nota e sfruttata sin dal tempo degli Etruschi.

Collezione dei Minerali greggi e lavorati delle miniere di Capanne Vecchie e Poggio Bindo presso Massa Marittima (dono dell'Ing. Constantin Haupt, anno 1853-54)

Descrizioni originali dei campioni
Scoria Ia fusione (FeSi)
Massello di ferro che si forma dalla riduzione dell'ossido di ferro (nel minerale arrostito in piccola dose) in ferro metallico. Analisi chimica (%): C=1,10; S=2,90; Si=1,30; Fe=91,24; Cu=3,10; perd.=0,36
Metallina torrefatta in fuochi aperti
Rame nero, che contiene 85 - 90 % di rame. II^{a} fusione
Metallina ottenuta dalla fusione di rame nero, contiene 50 % di rame. II^{a} fusione
Scoria (FeSi). II^{a} fusione
Rame rosetta, ossia raffinazione rame nero
Spume della raffinazione del rame nero, che vanno riconsegnate alla fusione del rame nero
Minerale di I^{a} e II^{a} qualità da sottoporsi immediatamente alle operazioni della fusione. Resa da 4 sino a 20%; resa media 7 % di rame
Minerale di III^{a} qualità da pestarsi e da concentrarsi sulle tavole di percussione. Resa da 1 a 3 1/2%; resa media 2 1/2 % di rame
Terra metallica o Spurghi di miniera da passarsi per la macchina di separazione e da concentrarsi sui crivelli idrostatici. Rende da 1 a 1 1/2 % di rame
Rena di rame, che contiene il 7% di rame, derivante dalla concentrazione del minerale di III^{a} qualità, spezzato per mezzo delle tavole di percussione
Stame di rame, che contiene l' 8% di rame, derivante dalla concentrazione del minerale di III^{a} qualità, spezzato per mezzo delle tavole di percussione

Stralcio di una sequenza di alcuni campioni lavorati della collezione. Gli esemplari dei minerali greggi sono rappresentati da calcopirite, talora associata a galena, blenda, pirite, limonite, covellina, bornite, ematite, malachite. La collezione completa consta di 46 campioni.

Orchis morio Linné
Foto "Il Graffio", Follonica

Comunicare la Scienza non è più un *optional*

Giovanni Carrada
Via Taro, 35 - 00199 Roma

La Scienza racconta la Scienza

Non si è mai parlato tanto di Scienza. Le librerie sono piene di libri di divulgazione, spesso molto ben fatta. Le trasmissioni televisive e radiofoniche si moltiplicano, e sono anche molto seguite. Stesso successo per le sempre più numerose riviste specializzate. Il numero di musei scientifici e *science centers* inaugurati nell'ultimo decennio è paragonabile solo a quello dei musei d'arte contemporanea. I festival della Scienza, nati in Gran Bretagna e diffusi ormai anche in Italia, attraggono folle da grandi eventi.

Sempre più spesso, come protagonisti o promotori di queste iniziative, ci sono ricercatori o istituzioni scientifiche. Che mai come oggi si stanno attrezzando per comunicare istituendo uffici stampa, aprendo i propri laboratori al pubblico, organizzando mostre e conferenze. La Commissione Europea chiede a chi riceve i suoi fondi di ricerca di comunicare anche al pubblico i risultati raggiunti, e ha già organizzato due grandi conferenze dedicate proprio alla comunicazione della ricerca europea. I grandi istituti di ricerca internazionali dedicano in media l'1% del proprio bilancio alla comunicazione, e la NASA il 2%. La Society for Neuroscience ha perfino radunato uno *staff* di professionisti dedicato ad assistere i ricercatori nella comunicazione al grande pubblico.

L'aumento dell'offerta è accompagnato peraltro dall'aumento della domanda. Secondo l'ultimo sondaggio di Eurobarometro dedicato alla Scienza e alla tecnologia, pubblicato nel 2005, per il 59% degli europei (e il 62% degli italiani) "gli scienziati non si sforzano di informare i cittadini sul loro lavoro", mentre per il 52 % degli europei (e il 61% degli italiani) "i più qualificati per spiegare l'impatto della Scienza e della tecnologia sulla società" sono i ricercatori universitari e di istituti pubblici.

Com'è accaduto che parlare al grande pubblico, attività fino a ieri considerata una distrazione dai "veri" compiti di uno scienziato, sia diventato addirittura un "dovere", come sostiene la Royal Society inglese? È accaduto che allo scopo "nobile" di diffondere la cultura scientifica se ne sono affiancati altri, forse meno nobili ma non meno importanti.

Incontri e scontri fra Scienza e Società

Facciamo un passo indietro. C'è stata un'epoca in cui, quando parlava la Scienza, i cittadini si toglievano il cappello e ascoltavano il Verbo senza fiatare. Quella lunga luna di miele è durata più o meno fino agli anni Sessanta del Novecento, quando il termine "scientifico" ha cominciato ad assumere una connotazione negativa, evocativa più di dubbi che di certezze. Nell'immaginario collettivo, la promessa di un continuo miglioramento della vita di tutti ha cominciato a lasciare il posto a icone negative chiamate "DDT", "Chernobyl" o "Talidomide".

Nel frattempo cambiava lo *status* sociale della Scienza, che come ogni grande soggetto, dalla pubblica amministrazione alla Chiesa cattolica, ha dovuto abbandonare il porto sicuro di un ruolo sociale sacralizzato per affrontare il mare grosso della diffidenza, della controversia, del confronto e, per usare una parola di moda, della *accountability*, la necessità di rendere conto di ciò che si fa. Non soltanto ai cittadini, ma anche alle stesse istituzioni che dalla fine dell'ultimo conflitto mondiale l'avevano appoggiata senza condizioni. Da molti anni a questa parte, inoltre, le decisioni importanti che riguardano il lavoro degli scienziati non vengono più prese nell'ambito della sola comunità scientifica o di qualche ufficio di un ministero, ma sono sempre più spesso il frutto di

una complessa negoziazione con una serie di soggetti sociali, sotto gli occhi del grande pubblico. Qualcuno ha parlato a questo proposito di transizione da una Scienza "accademica" a una Scienza "postaccademica".

Più di recente, alle tradizionali controversie che riguardano i rischi e i benefici di particolari tecnologie, come il nucleare, la chimica e le applicazioni della biologia molecolare in agricoltura, se ne sono aggiunte di nuove. Sono quelle in cui la ricerca si scontra con i valori di settori importanti della società. Basti pensare a questo proposito alla liceità o meno degli studi che fanno uso di cellule staminali embrionali, alle possibilità aperte dalle nuove scoperte della genetica umana o al dibattito fra evoluzionisti e sostenitori del cosiddetto *intelligent design*.

La nuova necessità di comunicare al pubblico misura in realtà il successo della Scienza: più sa e sa fare, più frequenti sono le occasioni di incontro (qualche volta anche di scontro) con diversi soggetti sociali o diversi punti di vista. Non dimentichiamo che siamo la prima generazione nella storia in cui i risultati della ricerca ci toccano immediatamente.

A tutto questo si aggiunga la crisi delle vocazioni scientifiche, particolarmente grave nelle scienze "dure" come fisica, chimica e matematica, sopraggiunta proprio quando la società e l'economia hanno più bisogno di una ben maggiore diffusione delle conoscenze tecnico-scientifiche all'interno della forza lavoro.

Così, con una buona generazione di ritardo rispetto agli altri grandi soggetti sociali, la Scienza ha finalmente capito che se trascura il rapporto con i cittadini che le assicurano nuovi talenti, risorse e libertà, rischia di trovarsi nei guai.

Il problema viene affrontato ormai in tutti i paesi avanzati, ma l'Italia, dove queste tre cose sono più scarse, è forse quello dove ce n'é più bisogno.

Dal Public Understanding of Science al dialogo con la società

Ma come viene affrontato questo problema? La reazione più diffusa, nella comunità scientifica, è stata quella di prendersela con l'ignoranza dei cittadini. "Ah, se solo la gente possedesse maggiori conoscenze scientifiche!": quante volte l'abbiamo sentito dire, sul nucleare, sugli ogm, o al periodico riaffacciarsi di presunte cure miracolose per il cancro?

L'idea che si possano trasformare i cittadini in piccoli biologi molecolari o in piccoli ingegneri, e che questo basti magicamente a ricreare il consenso sociale intorno all'impresa scientifica, è stata alla base degli ultimi due decenni di iniziative per migliorare i rapporti fra Scienza e società, il cosiddetto "movimento" del Public Understanding of Science, nato in Gran Bretagna alla fine degli anni Ottanta.

M45 - Le Plejadi. Foto di Marco Donati.
Astrofili Senesi.

Il Public Understanding of Science è stato definito un vero e proprio "modello standard" dell'interpretazione dei rapporti fra Scienza, tecnologia e società. Secondo il suo assunto di base, conosciuto nella letteratura specialistica come *deficit model*, all'origine delle controversie pubbliche che riguardano la Scienza o la tecnologia è il fatto che ai cittadini manca una com-

prensione delle conoscenze, delle teorie e delle metodologie scientifiche. Queste ultime avrebbero dunque solo bisogno di essere "tradotte" dal linguaggio specialistico a quello divulgativo perché le controversie si risolvano automaticamente.

In questo modello, è stato scritto, Scienza e Società sono considerati "due corpi sociali separati da una sorta di membrana semipermeabile che lascia passare un flusso di informazioni (la divulgazione) e azioni (l'innovazione tecnologica) dalla Scienza alla Società, ma non permette flussi nella direzione opposta".

Questo approccio coglie naturalmente un aspetto importante del problema. Moltissime indagini condotte un po' in tutti i Paesi avanzati hanno in effetti constatato, salvo rare eccezioni, lo scarso livello di alfabetizzazione scientifica della popolazione.

Il problema è che anni di sforzi e di valutazioni di questi sforzi hanno dimostrato che in realtà non c'è un legame chiaro e prevedibile fra maggiori conoscenze e maggiore consenso. Ma quel che è peggio, l'idea di poter trasformare i cittadini in piccoli esperti si è rivelata una pia illusione. Anche in quei Paesi, come la Gran Bretagna, in cui più si è fatto in questa direzione. Per diversi motivi.

Il primo è che i cittadini ne dovrebbero sapere troppo. Per farsi un'idea reale degli eventuali rischi dei campi elettromagnetici, per esempio, occorrerebbe conoscere la natura della radiazione elettromagnetica, le sue interazioni con le cellule dell'organismo, per non parlare della letteratura epidemiologica in merito. E poi, di quante cose dovrebbe diventare esperto il nostro povero cittadino?

Il secondo motivo è il cosiddetto paradosso della specializzazione: a mano a mano che le conoscenze prodotte aumentano o comunque si rinnovano (due cose che avvengono a un ritmo spaventosamente veloce), si riduce la possibilità per ciascun individuo di impadronirsene. Nella società la base di conoscenze condivise non può quindi che diminuire: se complessivamente il sapere cresce, può crescere parallelamente anche l'esperienza individuale di ignoranza.

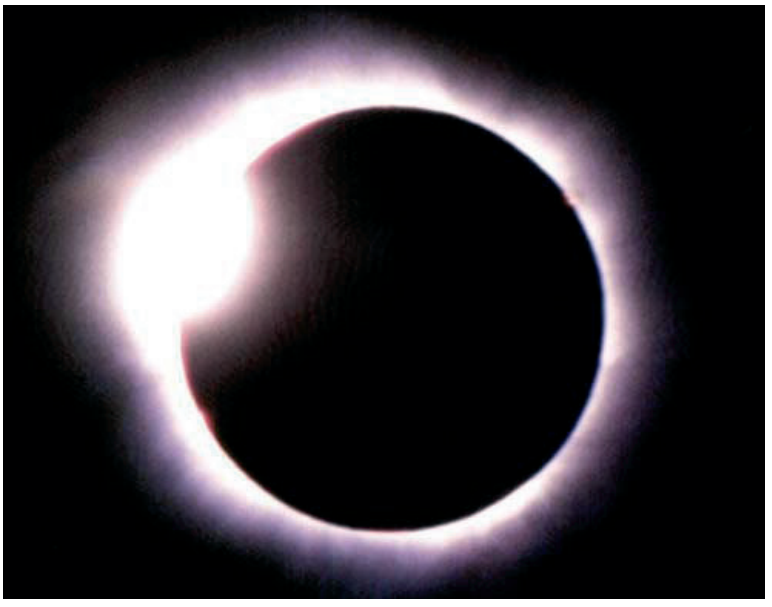
Il terzo è la mancanza di sufficiente motivazione. Quante persone sarebbero disposte a investire nella formazione di una buona cultura scientifica la grande quantità di tempo e di fatica necessarie? Di quali incentivi avrebbero bisogno? Per rendersene conto, basta pensare che è come chiedere a uno scienziato di "alfabetizzarsi" su un altro tema, anch'esso di grande rilevanza sociale, come l'amministrazione della giustizia. Quale ricercatore sarebbe davvero disposto ad addentrarsi nei tecnicismi della procedura penale o della giustizia amministrativa, indispensabili per farsene un'idea fondata? Al di fuori della nostra ristretta competenza professionale, siamo tutti "pubblico".

Ma in gioco c'è anche qualcosa di più fondamentale: la comunicazione con il pubblico segue regole completamente diverse rispetto a quella fra esperti. Non ne può essere una semplice "traduzione" in un linguaggio più accessibile.

Conquistare l'interesse del pubblico

Alla base della comunicazione fra esperti c'è l'idea che per convincere bastino (anzi, debbano bastare) i fatti, o l'importanza dei risultati. La bontà della causa, insomma. Il fatto è che mentre la Scienza procede per ipotesi e osservazioni empiriche, il pubblico procede per narrazioni legittimate dalla verosimiglianza.

James Watson e Francis Crick, gli scopritori



Eclisse di Sole: Anello di diamante. Foto di Francesco Benvenuti. Astrofili Senesi.

della struttura della molecola del DNA, ad esempio, l'avevano capito benissimo. Nel loro libro *La doppia elica*, presto diventato un classico, più che i dettagli della scoperta i due scienziati raccontarono la "folle corsa" per arrivare primi al risultato. In altre parole, raccontarono soprattutto quello che nel breve articolo per *Nature* avevano tolto: una narrazione, delle persone, ma soprattutto delle emozioni, senza le quali nessun tipo di comunicazione pubblica "passa" e lascia il segno.

Il primo passo è infatti creare (o ricreare) quella motivazione a conoscere un argomento che fra colleghi esiste per forza di cose. Senza attenzione non c'è ascolto, men che meno comprensione. E conquistarla non è facile. L'importante è partire dalle domande e dagli interessi preesistenti nel pubblico, per poi portarlo magari verso contenuti ritenuti più opportuni. Il punto di vista dal quale ci si avvicina all'argomento deve andare incontro alle priorità del pubblico, piuttosto che a quelle del ricercatore o dell'istituzione cui appartiene. La comunicazione è un servizio offerto ai cittadini, prima che a se stessi.

Saper comunicare vuol dire quindi saper trasformare ciò che si vuol dire in ciò che il pubblico vuole sapere, possibilmente riuscendo a trasformare un dovere in un piacere. Non solo perché il cittadino non ha la motivazione e gli obiettivi di uno studente, ma perché la comunicazione al pubblico non avviene in un vuoto, ma in un'arena pubblica affollata di comunicazioni di ogni tipo, da parte di aziende, politici, gruppi di pressione, in cui la competizione per assicurarsi l'attenzione della gente è durissima. Si moltiplicano i veicoli e le occasioni d'informazione, che oltre ai media annoverano ormai quasi ogni tipo di eventi, creati o sponsorizzati dai più diversi soggetti. Si è quindi costretti ad alzare sempre di più la voce per farsi sentire. I messaggi vengono sempre più gridati e semplificati, in formati sempre più brevi o veloci, nella speranza che almeno qualcosa colpisca l'attenzione e "passi".

Le notizie che "passano" più facilmente sono quelle che toccano corde forti, che hanno a che fare con la salute, l'utilità economica, la meraviglia, l'orgoglio nazionale, la paura e così via. Basti vedere quanta attenzione riceve la climatologia da quando ci si preoccupa del riscaldamento globale. Se ciò di cui vogliamo parlare non tocca nessuna di queste corde si può trovare un legame – una scusa, a essere onesti – per tirarne in ballo qualcuna. Anche la Scienza e la tecnologia hanno insomma ormai bisogno delle competenze degli *spin doctors*, gli specialisti della trasformazione delle notizie in qualcosa di più appetibile.

Questa prima differenza fra la comunicazione specialistica e quella pubblica è alla radice di quasi tutti i pregi, ma naturalmente anche di tutti i difetti che la popolarizzazione della Scienza può avere, a cominciare dal sensazionalismo. Tuttavia non è possibile ignorarla, se si vuole produrre una comunicazione efficace.

Assicurarsi l'attenzione della gente, però, non basta. Per comunicare in modo efficace occorre imparare a pensare con la testa del proprio pubblico. Anticipandone così interessi, domande, valori, difficoltà.

Il grande pubblico e la Scienza

Per un ricercatore, cercare di mettersi nei panni del pubblico basandosi sul proprio atteggiamento di fronte ai dati di fatto o su quello che sa o pensa è particolarmente fuorviante, perché tutto questo è il risultato di uno speciale e particolarissimo addestramento mentale dovuto al proprio tirocinio scientifico. Ciascuno di noi, in realtà, di fronte a una serie di fatti, non si mette quasi mai a soppesarne con la massima imparzialità i pro e i contro alla ricerca della spiegazione più logica e razionale, ma un po' sbrigativamente se ne fa un'idea sulla base della propria esperienza personale e delle proprie opinioni, oltre che del contesto culturale e sociale nel quale è immerso. In particolare, tendiamo spesso a selezionare quegli elementi che confermano ciò che già pensiamo e a ignorare o razionalizzare gli altri.

Ciò che si dice o si scrive non finisce dunque su una *tabula rasa*, ma su un terreno dal quale dipende se il nostro messaggio verrà ignorato, distorto, capovolto, oppure invece accolto. Il punto di partenza di molte analisi compiute nell'ambito delle scienze sociali è infatti che le informazioni di tipo scientifico o relative a fatti scientifici giungono in modo frammentario, in genere dalle fonti più dis-

Cometa Hale-Bopp. Foto di Marco Donati.
Astrofili Senesi.

parate e prive di uno schema interpretativo. O perché tale schema non viene fornito, o perché è troppo complesso.

La nostra mente tuttavia aborrisce letteralmente i brandelli di conoscenze, la mancanza di senso e di significato, e si ricostruisce una rappresentazione del mondo utilizzando i brandelli a disposizione, unificandoli attraverso legami spesso arbitrari e irrazionali, riempiendo i vuoti con ciò che ha già. Un po' come avviene nei meccanismi della visione. In altre parole, la nostra mente cerca attivamente di costruire strutture di senso dove non ce ne sono, affidandosi alle conoscenze, ai concetti e ai meccanismi che già possiede.

L'appropriazione di una teoria o di fatti scientifici non ha dunque nulla di passivo, ma è un processo attivo guidato dal senso comune che cerca di rispondere a esigenze specifiche, inquadrandoli in rappresentazioni sociali preesistenti.

Per conoscere queste esigenze e queste rappresentazioni diffuse non serve tanto seguire il lavoro dei giornalisti scientifici, i quali riflettono in genere una visione del mondo non molto diversa da quella degli scienziati stessi, ma la televisione, i quotidiani, i film, i rotocalchi femminili, i siti web dei gruppi di pressione, la fantascienza, i giornalisti non specializzati, in genere fra i più fedeli interpreti del comune pensare, ma anche le conversazioni con amici che fanno un altro mestiere.

Insomma, per instaurare una buona comunicazione occorre prima di tutto ascoltare, per capire quali altri elementi (etica, valori, emozioni, timori, cose già sapute, modi di pensare, ecc.) possono essere presi in considerazione dai propri interlocutori. Fra questi elementi ci sono inoltre meccanismi psicologici importanti che il ricercatore, proprio a causa dell'addestramento mentale che ha ricevuto, tende a sottovalutare.

Nulla come la comunicazione dei rischi dimostra in maniera più estrema il ruolo di tutti questi elementi, ed è causa di frustrazione per gli esperti. Decenni ormai di ricerche hanno dimostrato come la valutazione statistica del rischio fatta dall'esperto sia uno degli ultimi elementi presi in considerazione. Questo perché la nostra mente non si è evoluta per basarsi su probabilità statistiche, ma usa innanzitutto delle "scorciatoie". Quella che ad esempio le fanno sopravvalutare i rischi di eventi catastrofici ma rari, come l'incidente a una centrale nucleare o la caduta di un aereo, e sottovalutare quelli degli incidenti stradali, non catastrofi ma molto più comuni. Allo stesso modo, accettiamo più volentieri i rischi volontari di quelli imposti, i rischi legati a tecnologie ormai familiari di quelli legati alle tecnologie nuove. La valutazione dipende inoltre dalla fiducia accordata agli organismi preposti al controllo, dal fatto che siano accaduti in passato incidenti che hanno avuto una particolare risonanza, dal modo in cui l'argomento è stato trattato dai media, dalle leggende metropolitane diffuse sull'argomento, e così via.

Per uno scienziato, è giusto non tener conto di tutti questi altri elementi nell'ambito del proprio lavoro, ma se li ignora nel momento in cui sta comunicando, senza cercare quindi argomenti in grado di "smontarli", commette un errore madornale.

Consigli per cominciare

Non è questa la sede più adatta per parlare di come si produce una comunicazione chiara ed efficace, cioè degli strumenti che fanno parte del

bagaglio professionale del comunicatore, anche perché di essi ci si appropria soprattutto con la pratica.

Un aspetto spesso trascurato, e che deve invece essere tenuto molto ben presente anche dal ricercatore che delega questa attività a un professionista, è la progettazione della propria comunicazione.

Prima di agire è infatti importante saper rispondere in maniera molto precisa ad alcune domande.

"Perché comunico?", ovvero a chi esattamente mi voglio rivolgere, e quale tipo di cambiamento voglio ottenere in queste persone? Una comunicazione buona un po' per tutti è quasi sempre anche un po' cattiva per tutti, e più difficile. Ed è molto diverso cercare visibilità, cercare di spiegare o far sapere qualcosa, o persuadere delle proprie ragioni.

"Conosco il mio pubblico?", ovvero so chi è, che cosa sa già dell'argomento, che cosa ne pensa, quali media lo raggiungono meglio o risultano più credibili?

"Il mio è un buon argomento per i media?", è cioè una buona notizia, fa volare l'immaginazione, a quante persone può interessare, a cosa serve, suscita delle emozioni, quanto è vicino alla vita di tutti i giorni, può essere capito facilmente, si presta a una rappresentazione spettacolare? O, al contrario, quali sono i vincoli che esso presenta?

"Qual è il mio messaggio?", ovvero posso sintetizzare in una sola frase, chiara e non generica, il nucleo minimo dei contenuti o dell'argomentazione che dovrebbe comunque essere fatto proprio e ricordato dai destinatari?

Nessuna comunicazione infatti si improvvisa, men che meno quella della Scienza. Persino nella pubblicità, la soggettività e il colpo di genio entrano in campo solo in un secondo momento, dopo che un'attenta analisi ha messo in luce e precisato obiettivi, vincoli e opportunità.

Prima di mettersi al lavoro, o di mettere al lavoro qualcuno, occorre inoltre tenere presente il fatto che ci sono due diversi tipi di comunicazione.

Il primo è quello della comunicazione di routine, il canale da tenere sempre aperto con la società per mezzo del quale costruire, nel tempo, l'indispensabile base di conoscenza e fiducia reciproche. Questa comunicazione è fatta soprattutto di aggiornamenti, attività per le scuole, offerta di informazioni utili, servizi per i media. Si tratta della comunicazione per mezzo della quale ci si accredita presso diversi soggetti sociali, siano essi media, istituzioni locali, gruppi di pressione o semplici cittadini.

Il secondo è invece quello della comunicazione di crisi, con la quale si intende far sentire la propria voce su questioni discusse, ad esempio un taglio nei finanziamenti, regolamentazioni troppo restrittive, un incidente.

Senza la prima, la seconda non serve quasi a niente.

Un nuovo mestiere da imparare

La sostenibilità dell'impresa scientifica e dei suoi ritmi di innovazione potrà essere assicurata solo se essa saprà comunicare con la società molto di più, in modo molto più efficace e con molta più continuità. A tutti i livelli, nel settore pubblico come in quello privato.

A nessuno infatti piace cambiare, ma la Scienza continua a cambiare ciò che possiamo pensare e ciò che possiamo fare. La comunicazione serve quindi a ricostruire dei ponti fra ciò che sapevamo e ciò che è stato appena scoperto. Per il mondo della ricerca sarà una "fatica" (in termini di impegno, tempo, risorse, creatività) che come quella di Sisifo è destinata a non finire mai. Perché il nuovo continuerà a rendere inutile ciò che è stato appena conquistato, e costringerà a ricominciare daccapo. E il mondo della ricerca non potrà fare a meno di farlo.

Testi consigliati

Carrada G. (2005) - *Comunicare la Scienza, kit di sopravvivenza per ricercatori*. Sironi, Milano.
Il volume è scaricabile gratuitamente all'indirizzo: http://www.mestierediscrivere.com/testi/comunicarelaScienza.htm

La “voragine” del Bottegone

Valentina Di Natali, Mauro Coltorti, Matteo Picozzi, Dario Albarello
Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra
Via Laterina, 8 - 53100 Siena

Nel 1999 si è verificato nel Comune di Grosseto, località “Il Bottegone”, un imponente e repentino sprofondamento che ha interessato un’area di oltre 150 metri di diametro. Per quanto infrequenti, fenomeni di questo genere sono sempre stati presenti nel territorio italiano ed in particolare sull’Appennino. Nel caso di cui si tratta, l’evento si è verificato in aperta campagna e non ha quindi provocato danni; sono note, tuttavia, situazioni in cui sono stati registrati ingenti danni materiali; per cui il rischio che una comunità puo’ correre rimane concreto. Lo sprofondamento verificatosi in località “Bottegone” è stato oggetto di numerosi studi che finora non hanno raggiunto esiti conclusivi. Per questo motivo riteniamo opportuno presentare nuovi risultati, ottenuti utilizzando metodologie di tipo geomorfologico e geofisico, i quali hanno permesso di avanzare nuove e più realistiche ipotesi sulle possibili cause del fenomeno

Descrizione dell’evento

Il 29 gennaio 1999 si è verificato uno sprofondamento (Fig. 1) all’interno di un appezzamento di terreno della fattoria Acquisti, costeggiante la strada del Polesine ed ubicato circa 10 km a nord di Grosseto.

Si è trattato di un fenomeno molto rapido, con una fase di massima attività di circa 22 ore, che ha dato origine ad una depressione di forma ovale (allungamento massimo di 188 m in direzione NNE-SSO; allungamento minimo di 150 m in direzione perpendicolare).

La regolarità mantenuta dai canali di irrigazione (Fig. 1) mostra che il movimento del terreno è stato essenzialmente verticale.

L’abbassamento iniziale è stato di pochi metri. Nel corso della giornata, tuttavia, il fondo è giunto fino ad una profondità massima di 15 m. Nella parte S-SO della “voragine” l’approfondimento è stato maggiore e segnato da pareti più ripide (Fig. 2); in quella N-NE, invece, ha prodotto pendenze più dolci, con profondità meno elevate e degradanti verso una specie di ripiano (terrazzamento) pressoché al centro della depressione.

Dopo le prime 22 ore, lo sprofondamento è diventato sempre più lento fino ad arrestarsi completamente. Ad un anno dall’evento, la “voragine” non si è approfondita, ma si è progressivamente allargata fino a coinvolgere la strada sterrata posta al margine del campo interessato dal fenomeno. Da rilevare che a seguito della sua apertura si è

Fig. 1 - La “voragine” del Bottegone.

Fig. 2 – Particolare del fenomeno di sprofondamento nella porzione meridionale della depressione.

osservata una risalita della falda acquifera di qualche metro, il che ha determinato la formazione al suo interno di un "laghetto" (Fig. 3).

Gli effetti del fenomeno hanno avuto ripercussione anche a distanza. Infatti nella sorgente Poggetti Vecchi, posta a diverse centinaia di metri dal luogo, è stato riscontrato un aumento della portata, con un incremento dai 40-50 ai 70 litri al secondo (ottenuti in occasione di una prova eseguita in data 29 settembre 1999), fino ai 77 l/s (in data 16 novembre dello stesso anno). Oltre alla variazione di portata si è assistito ad un'aumento di torbidità delle acque e allo sviluppo di vulcanetti di fango (Fig. 4). Nelle ore successive allo sprofondamento, anche alla sorgente Caldanelle (situata a N-E della "voragine") sono stati osservati sia l'intorbidimento delle acque che l'aumento di portata, quest'ultimo con un innalzamento di livello di circa 13 cm nella vasca di raccolta.

La risalita dell'acqua è stata riscontrata infine nei campi limitrofi alle sorgenti.

Fig. 3 - Particolare del fenomeno di sprofondamento nella porzione settentrionale della depressione, con il "laghetto" in essa formatosi.

Prima campagna di indagini

Subito dopo il collasso, il Comune di Grosseto ha programmato una serie di indagini, con lo scopo di definire le caratteristiche del sottosuolo e le cause dello sprofondamento. L'ipotesi iniziale era quella del possibile collasso di una cavità carsica. Le cavità carsiche, infatti, si formano all'interno di corpi calcarei per effetto della circolazione di acque sotterranee caratterizzate da elevati livelli di acidità; queste acque sono in grado di dissolvere chimicamente il calcare provocando la formazione di cavità sotterranee, le quali possono poi crollare per il peso dei materiali sovrastanti. Effettivamente, nella zona affiora la formazione detta Calcare cavernoso, il cui nome deriva proprio dalla presenza al suo interno di cavità dovute a dissolvimento (prodotto dalle acque sia sotterranee che meteoriche). Per confermare questa ipotesi sono state condotte indagini basate su metodologie geologiche, geofisiche e geochimiche (Pioli *et al*., 1999). In realtà, per motivi di tipo logistico (la depressione si è rapidamente riempita d'acqua), tali indagini hanno riguardato unicamente il sottosuolo delle aree immediatamente adiacenti la "voragine", individuandovi una formazione calcarea a 250 m di profondità. In conseguenza di ciò, lo sprofondamento in oggetto è stato attribuito al crollo del tetto di una cavità carsica formatasi nel substrato di Calcare cavernoso. Tuttavia, gli indizi a sostegno di questa ipotesi sono piuttosto scarsi e nessuna delle metodologie utilizzate ha fornito prove consistenti. Per contro, la forma della voragine (pareti ripide e fondo circa piatto) lasciavano supporre una origine del fenomeno assai più superficiale.

Fig. 4 - Vulcani di fango in località Poggetti Vecchi.

Studi svolti

Per tentare di superare queste difficoltà e fornire indicazioni più stringenti sulla natura del fenomeno, gli autori di questo articolo hanno condotto una nuova ricerca basata su metodologie diverse da quelle della prima campagna di studi.

A questo scopo si è innanzitutto fatto riferimento a modelli teorici in grado di vincolare meglio il fenomeno. In generale si considerano quelli derivanti da studi connessi alla statica di coltivazioni minerarie, i quali forniscono soluzioni basate su un'ampia casistica di fenomenologie differenti verificatesi fin dagli anni '40. Secondo uno di questi modelli (Lehman, 1919; figura 5), è possibile individuare nel bacino di sprofondamento una zona di distensione (area perimetrale) ed una zona di compressione (area centrale). La cavità sotterranea dovrà avere dimensioni circa uguali a quelle della zona di compressione. Utilizzando le tecniche della geomorfologia è stato possibile riconoscere (Fig. 6) sia la zona di distensione, caratterizzata da scarpate e trincee che conferiscono una morfologia a gradinata, sia quella di compressione, caratterizzata da un'area di forma subcircolare con diametro medio di circa 80 m e con evidenti deformazioni e rigonfiamenti ai fianchi.

Una volta stabilita la dimensione della cavità che ha generato il collasso, è necessario determinare la sua profondità. A questo scopo è stata condotta una campagna di misure geofisiche mediante la tecnica della sismica a riflessione. In questa tecnica, la struttura del sottosuolo è ricostruita analizzando le onde sismiche generate da una sorgente posta sulla superficie e captate da una serie di sensori (geofoni) posti a diverse distanze dalla sorgente. In particolare, è stata adottata una speciale tecnica di prospezione che ha permesso di indagare per la prima volta il sottosuolo al di sotto della "voragine", oltre che quello posto nelle sue vicinanze. È stata così individuata, a circa 50 metri dal livello di campagna, una superficie riflettente che si estende indeformata sia al di sotto della "voragine" che nelle aree circostanti; per cui risulta possibile escludere l'ipotesi che il collasso abbia avuto luogo a 250 metri di profondità.

In conclusione, tramite la nuova campagna di indagini si è stabilito che la cavità sotterranea dalla quale ha avuto origine la "voragine" ha forma pseudocircolare, un diametro medio di circa 80 m, uno spessore di circa 10 m; essa, inoltre, è situata ad una profondità non superiore a 50 m dal piano di campagna.

Le cause del collasso

Alla luce dei risultati ottenuti, è necessario formulare nuove ipotesi per spiegare la causa del collasso o, in altre parole, l'entità del vuoto formatosi in superficie in funzione di una perdita di materiale solido in profondità.

Una possibile spiegazione può essere trovata considerando che un sondaggio eseguito nella zona (nei pressi di "Il Madonnino") ha rivelato la presenza nel sottosuolo di gesso miocenico (Censini & Costantini, 2000). Come il calcare, infatti, anche il gesso può essere sciolto dalla circolazione delle acque sotterranee, dando origine a cavità con volte suscettibili di crollare per il carico del materiale sovrastante. Si puo' pertanto supporre che un livello di gesso disciolto dalle acque circolanti abbia prodotto una cavità responsabile del collasso che ha determinato la "voragine" del Bottegone.

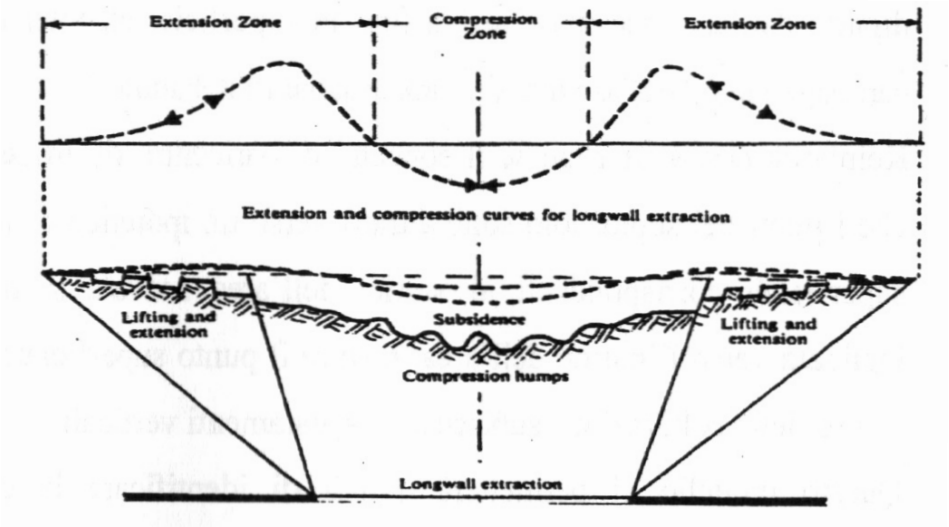


Fig. 5 - Modello di Lehman.

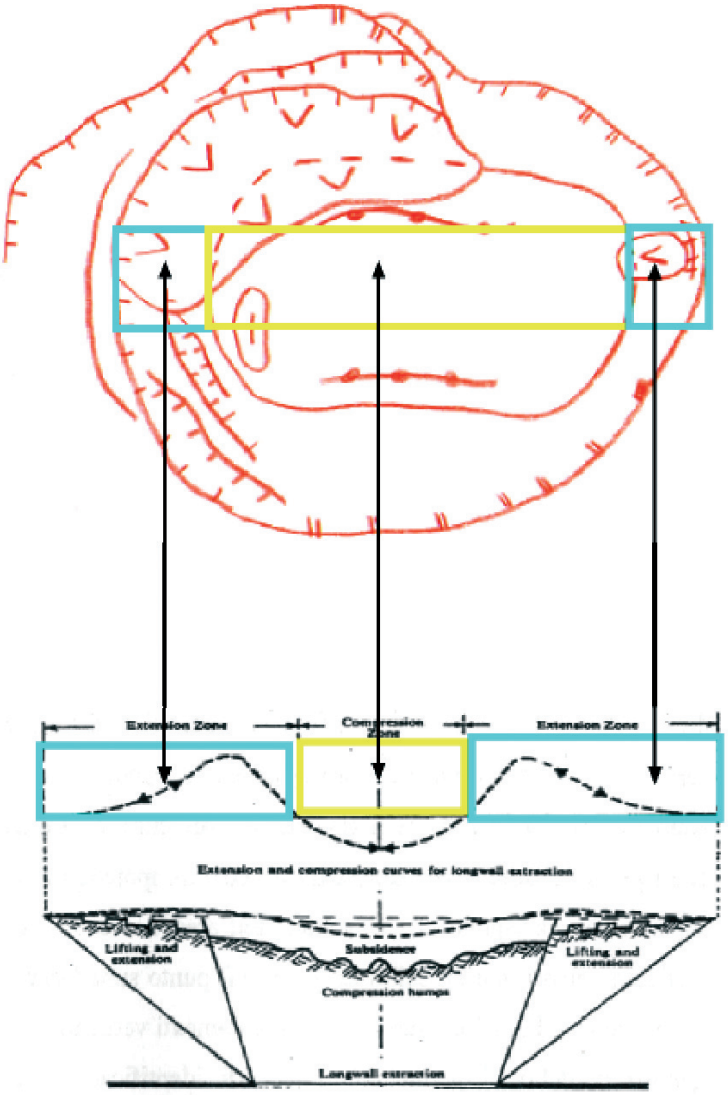


Fig. 6 - Confronto con il modello di Lehman.

A questo proposito, puo' anche essere ipotizzato che la dissoluzione interna al corpo gessoso abbia provocato, anziché una cavità, numerose microcavità del volume complessivo corrispondente a quello di un grande ambiente sotterraneo. Tali ipotesi risulterebbero in ogni caso confortate dal fatto che le sorgenti della zona (e in particolare quelle dei Poggetti Vecchi, Caldanelle e Acqua dei Bagni di Roselle) sono ricche (sovrassature) in gesso e classificabili come solfato alcalino-terrose (Bencini *et al*., 1977).

Questo modello interpretativo può anche spiegare il fenomeno della formazione dei vulcani di fango nell'area interessata dallo sprofondamento. Infatti queste manifestazioni possono essere collegate ad un aumento di pressione idraulica provocato dall'espulsione dei fluidi presenti nella cavità prima del collasso.

Prospettive

Se il modello interpretativo è corretto, questo può fornire utili indicazioni per la prevenzione di possibili danni connessi a fenomeni dello stesso tipo. A questo scopo sarebbe necessario un accurato monitoraggio dei livelli evaporitici (gessi) e di quelli sabbiosi e ghiaiosi presenti nella piana di Grosseto. Sulla base delle informazioni relative alla geometria di questi livelli ed ai parametri ricavati per il collasso del Bottegone (soprattutto l'area potenzialmente interessata dall'eventuale fenomeno di crollo) sarà possibile compilare una mappa delle zone a rischio.

Testi citati

Bencini A., Duchi V. & Martini M. (1977) - *Geochemistry of thermal springs of Tuscany (Italy)*. Chemical Geology, 19, 229-252.

Censini G. & Costantini A. (2000) - *Il sottosuolo della pianura tra Grosseto e Ribolla: ipotesi sul suo assetto strutturale*. In: "Le voragini catastrofiche. Un nuovo problema per la Toscana", Edizioni Regione Toscana, 231-240.

Corazza A. (2004) - *Il rischio dei fenomeni di sprofondamento in Italia: le attività del dipartimento della protezione civile*. Atti I seminario "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di *sinkholes* e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio" (Roma 20-21 maggio 2004).

Lehmann K. (1919) - *Bewegungsvorgange bei der Bildung von Pingen und Trogen*. Gluckauf, 55, 933-42.

Pioli F., Corsi M., Barbuglia F., Rizzo F., Del Greco O., Fornaro M., Oggeri C. & Garbarono E., (1999) - *Studio di un fenomeno di subsidenza originato da un collasso gravitativo profondo - Loc. Bottegone*. Comune di Grosseto, rapporto tecnico.

Passi verso una fisica evolutiva

Enzo Tiezzi, Angelo Facchini, Riccardo M. Pulselli, Federico Rossi
Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi
Via della Diana, 2 - 53100 Siena

La fisica e la chimica dei sistemi viventi hanno fondamenti diversi dalla fisica e dalla chimica dei sistemi non viventi. Come ha rimarcato Ilya Prigogine, nell'evoluzione degli organismi "osserviamo a tutti i livelli eventi associati all'emergere di novità, che possiamo a loro volta associare alla potenza creativa della Natura"; e la biodiversità trae origine soltanto dalle proprietà emergenti, dagli eventi e dagli elementi narrativi della storia biologica. La rivoluzione scientifica della fine del secolo scorso sorge appunto da questo riconoscimento, tanto che concetti come quelli di "struttura dissipativa" e di "auto-organizzazione" – che rappresentano le nuove ed indispensabili chiavi di lettura per una fisica ed una chimica che siano realmente in grado di affrontare la sfida della complessità e di una biosfera in continua evoluzione – sono divenuti ormai popolari. Alla base della nuova scienza Ecodinamica c'è dunque il gioco dialettico fra il caso e la scelta, ove la quantità e la qualità sono ambedue necessarie per una descrizione scientifica globale della Natura.

Introduzione

"La conservazione senza evoluzione è morte. L'evoluzione senza conservazione è follia", dice Gregory Bateson. Questo assunto sottolinea una caratteristica fondamentale dell'evoluzione biologica e delle proprietà della biosfera. La fecondazione reciproca tra aspetti evolutivi ed aspetti conservativi è una *conditio sine qua non* per la vita e per il suo mantenimento.

Il primo principio della termodinamica riguarda la conservazione, il secondo principio della termodinamica riguarda l'evoluzione. Il tempo, le oscillazioni, le instabilità ed il caos trovano nel secondo principio della termodinamica una dignità scientifica.

L'energia e la materia sono proprietà conservative della biosfera (primo principio della termodinamica). L'*organizzazione* e le *informazioni* incorporate nella storia dell'energia e della materia sono proprietà evolutive e riguardano la Termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio. All'equilibrio l'energia e la materia sono cieche, lontano dall'equilibrio cominciano a "vedere" (Ilya Prigogine).

Un ulteriore passo verso la fisica evolutiva è costituito dalla seguente considerazione di Blaise Pascal: "l'intero è più della somma delle parti". Questo assunto, contrapposto alla visione cartesiana che la conoscenza scientifica è tanto migliore quanto più l'intero viene diviso in piccole parti, sottolinea l'altra caratteristica fondamentale della biosfera e dei sistemi viventi e traccia il primo spartiacque tra sistemi materiali non viventi e viventi. L'approccio cartesiano è validissimo per i primi, ma non sufficiente per i secondi.

"A tutti i livelli osserviamo eventi associati all'emergere di novità, che possiamo, a loro volta, associare alla potenza creativa della Natura", afferma Prigogine. Questa affermazione introduce il passaggio dalla cultura dello spazio alla cultura del tempo ed individua nelle *proprietà emergenti*, negli *eventi* e negli *elementi narrativi* della storia biologica la rivoluzione scientifica della fine del secolo scorso. Concetti come quelli di *struttura dissipativa* e di *auto-organizzazione* sono ormai diventati popolari. *Cicli*, *freccia del tempo* ed *eventi* rappresentano il nuovo lessico per una chimica e una fisica finalmente evolutive. Una fisica e una chimica che affrontano la sfida della complessità di una biosfera in continua evoluzione.

Caso e scelte e i loro giochi reciproci sono alla base di una nuova *scienza ecodinamica*. Qualità e quantità sono ambedue necessarie per la descrizio-

ne scientifica globale della Natura. La biodiversità è il risultato e la proprietà saliente dell'evoluzione biologica. L'avventura dell'evoluzione biologica è un'avventura caratterizzata da eventi casuali, rari, imprevedibili e da scelte puntuali e precise; è un'avventura "stocastica". In greco *stokàzomai* vuol dire "tiro al bersaglio con l'arco". Le frecce sono distribuite apparentemente in maniera casuale intorno al centro del bersaglio, ma la mano dell'arciere "sceglie", nel limite del possibile, di direzionare la freccia: il sistema combina la casualità con il libero arbitrio (scelta).

Gli ecosistemi nascono e si evolvono stocasticamente sulla base di meccanismi di co-evoluzione e auto-organizzazione. Sono sistemi ad elevata complessità interconnessi in tutte le loro componenti e non obbediscono a leggi lineari e deterministiche.

Sulle spalle dei giganti: una nuova visione epistemologica

Scriveva nel XII secolo Giovanni di Salisbury: "… noi siamo quasi come nani seduti sulle spalle di giganti, per cui siamo in grado di vedere di più e più lontano di loro non perché siamo più alti o perché abbiamo una vista migliore, ma perché siamo stati trasportati in alto e ci avvaliamo della loro gigantesca grandezza" (*Metalogicus*, III, 4, 1159).

Tuttavia, come ha mostrato Kuhn (1962), il trascorrere del tempo rivela spesso anomalie che le teorie esistenti non sono in grado di spiegare fino in fondo: a tal punto che il divario fra la teoria e la realtà può farsi enorme, causando seri problemi. E Kuhn ha paragonato addirittura il cambiamento di paradigma ad un cambiamento della *Gestalt* visiva (come se macchie sulla carta solitamente viste come un uccello venissero adesso viste come un'antilope), fornendo una nuova prospettiva sugli elementi di un problema, suscettibile di trovare per la prima volta una soluzione. In questo senso, un cambiamento di paradigma appare simile ad un nuovo orientamento della *Gestalt*.

Sven Jørgensen (2005) sottolinea che: "Il recente sviluppo dell'ecologia sistemica rappresenta un cambiamento di paradigma capace di sostituire il paradigma classico che ha dominato per centinaia di anni la nostra cultura, considerando l'universo come un sistema meccanico composto solamente da particelle elementari. Il nuovo paradigma è dunque basato su una visione olistica del mondo: un mondo visto come somma integrata degli elementi che lo compongono, nel quale è riconosciuta la fondamentale interdipendenza di tutti i fenomeni."

La chimica fisica evolutiva, o termodinamica ecologica (*Ecodinamica*: vedi la nuova rivista trimestrale "International Journal of Ecodynamics", WIT Press, Southampton, UK, 2006), rappresenta un primo gradino fondamentale verso questo cambiamento di paradigma. Le leggi fondamentali della chimica fisica classica devono essere riviste alla luce di una nuova *Gestalt* del tempo.

Le leggi base della fisica da Newton ai giorni nostri sono reversibili rispetto al tempo; al contrario la realtà è costituita da aspetti fenomenologici caratterizzati dall'irreversibilità del tempo come l'organizzazione macromolecolare, la differenziazione cellulare e i processi vitali. La ragione di ciò risiede nelle interazioni dinamiche che hanno luogo nei sistemi complessi. L'analisi della realtà richiede forti modifiche nelle equazioni e nelle teorie della chimica fisica corrente. Adesso è chiaro che i sistemi complessi ed i loro comportamenti possono essere analizzati solo attraverso le relazioni che includono il tempo come fattore direzionale.

Nella struttura della fisica evolutiva si ha a che fare con "funzioni *goal*" piuttosto che con funzioni di stato, con configurazioni di processi evolutivi piuttosto che con statiche strutture molecolari. I modelli ecodinamici devono basarsi su relazioni che si evolvono nel tempo; la termodinamica dei sistemi lontano dall'equilibrio si assume il ruolo di fondare un nuovo modo di descrivere la natura.

Come sostiene Prigogine, "sebbene la meccanica quantistica e la relatività generale siano rivoluzionarie, per quanto riguarda il concetto del tempo, esse rimangono dirette discendenti della dinamica classica e portano con sé la radicale negazione dell'irreversibilità del tempo. L'irreversibilità non è legata al tempo newtoniano o alla sua generalizzazione einsteiniana, ma ad un 'tempo interno' espresso in termini di relazioni tra le varie unità che compongono il sistema, così come sono le relazioni tra le particelle."

Prigogine introduce il concetto di freccia del tempo per descrivere i cambiamenti irreversibili. La questione principale derivata dalla *teoria delle strutture dissipative* è che il mantenimento di sistemi aperti lontano dall'equilibrio è possibile solo se sopraggiungono processi termodinamici irreversibili. Tali processi dissipano energia e materia aumentando l'entropia nell'ambiente.

Il processo evolutivo è tale che i sistemi diventano sempre più complessi ed organizzati. La diversità biologica è il prodotto di interazioni di lungo periodo a livello genealogico ed ecologico: le interazioni genealogiche riguardano la dissipazione di entropia da parte di processi biologici irreversibili; mentre le interazioni ecologiche riguardano i gradienti di entropia nell'ambiente.

Noi tutti stiamo sulle spalle dei giganti i cui nomi sono Werner Heisenberg, Max Planck, Gregory Bateson, Francisco Varela e Ilya Prigogine.

Lo scopo ambizioso del nostro lavoro sta nel provare a costruire un ponte tra la fisica e la chimica dei sistemi non viventi e la fisica e la chimica dei sistemi viventi o chimica fisica evolutiva: un ponte tra Darwin e Prigogine. E il punto principale sotteso a tale impostazione epistemologica è che la fisica e la chimica dei sistemi viventi (chimica fisica evolutiva) hanno fondamenti diversi dalla fisica e dalla chimica dei sistemi non viventi.

Un disegno metafisico

Gli studi geologici, meteorologici, ecologici, oceanografici e biologici hanno dimostrato che la vita di ogni singolo organismo è parte di un processo su grande scala che coinvolge il metabolismo di tutto il pianeta. *L'attività biologica è una proprietà planetaria, una continua interazione di atmosfere, oceani, piante, animali, microorganismi, molecole, elettroni, energie e materia: tutti parte di un unico globale*. Il ruolo di ciascuno di questi componenti è essenziale per il mantenimento della vita.

La biodiversità e la meravigliosa bellezza biologica giocano in favore di un disegno metafisico nell'evoluzione della vita.

Lungi dall'essere in linea con l'ideologia del creazionismo, il riconoscimento di un disegno metafisico in natura è in linea con il punto di vista di evoluzione darwiniana ma non con la sua deriva determinista: o meglio, è in linea con il punto di vista di una "evoluzione senza fondamenti" nella quale libero arbitrio, scelte e caso giocano un intergioco complesso e meraviglioso.

È proprio la scienza e, in particolare, la termodinamica di Prigogine, a scoprire la meraviglia della bellezza narrativa dell'evoluzione biologica, ad accentuare il carattere evolutivo della natura. Una scienza, la fisica evolutiva, che si pone sulla strada maestra dello studio della natura, che usa le qualità oltre alle quantità, che usa l'irreversibilità del tempo (come, del resto, ha fatto Darwin) e che, in accordo con il teorema di Gödel, non sarà mai costretta dentro un'unica struttura matematica e non prevede la riproducibilità sperimentale, ma chiede che le venga riconosciuta, proprio come all'evoluzione biologica, piena dignità scientifica.

Tra gli altri, due argomenti sono in accordo col suddetto punto di vista:

1) sappiamo immaginare grandi numeri, ma la natura è in tre dimensioni, così come tre sono le dimensioni della nostra scatola cranica. Il nostro processo cognitivo non può che essere in tre dimensioni, ma "sentiamo" che ne possono esistere altre (per esempio il tempo);

2) in natura esistono tempi di vita diversi, per gli esseri umani, per le sequoie, per le falene, per il nostro cane. Partendo dalla filosofia di Nietzsche, il premio Nobel 1973 per la biologia Konrad Lorenz (1983) scrive: "Quando Dio creò il mondo, deve aver avuto ragioni ben imperscrutabili per dare al cane una vita cinque volte più breve di quella del suo padrone", dal giorno in cui il primo "sciacallo dorato" cominciò a seguire l'uomo. Del resto sappiamo bene che i tempi storici sono così diversi dai tempi biologici (Tiezzi, 1984, 2005).

Andare nella direzione di una visione evolutiva della Terra significa anche andare nella direzione di unificare le due culture, la scientifica e l'umanistica.

Ecco che allora la nuova fisica evolutiva lascia i sicuri ormeggi del determinismo e/o del soggettivismo, per includere nei paradigmi di base l'incertezza e l'irreversibilità; accetta finalmente, cioè, la stocasticità del tempo come proprietà intrinseca della materia in un Universo in cui,

invertendo la frase di Einstein, *"Dio gioca a dadi"* per dare una possibilità alla scelta.

Se, come dice Mae-Wan Ho (1998), "la scienza è una ricerca per una comprensione più intima della natura, non è una diligente organizzazione con lo scopo di validare le teorie esistenti ed indottrinare gli studenti su ideologie 'corrette'. È un'avventura dello spirito libero e curioso che si nutre non tanto delle risposte quanto delle domande senza risposta. È gli enigmi, i misteri e i paradossi, che catturano l'immaginazione, conducendola nella più raffinata delle danze"; se la scienza è questa danza meravigliosa, allora oggi la sfida è quella di puntare ad una "termodinamica della complessità organizzata", ricordandoci che "non c'è ancora una scienza dell'eterogeneità organizzata o complessità tale da poter essere applicata ai sistemi viventi".

Indeterminazione termodinamica

"Nell'istante in cui la posizione viene determinata, l'elettrone subisce un cambiamento discontinuo nella quantità di moto. Tale cambiamento è tanto maggiore quanto più piccola è la lunghezza d'onda della luce usata – in altre parole, quanto più esatta è la determinazione della posizione. Tanto più precisamente si calcola la posizione (q), tanto meno precisa sarà la misura della quantità di moto (p) e viceversa." (Heisenberg, 1927)

Prendendo in considerazione le leggi dell'effetto Compton, p_1 e q_1 sono legati dalla relazione:

$$p_1 q_1 \approx h \qquad [1]$$
$$E_1 t_1 \approx h \qquad [2]$$

L'equazione [2] è in relazione con l'equazione [1] e mostra che una determinazione esatta dell'energia può essere ottenuta solo a spese di un'indeterminazione nel tempo.

Dato che nel paradigma della meccanica quantistica il tempo è reversibile, l'irreversibilità del tempo non è presa in considerazione. Entrambe le equazioni di indeterminazione [1] e [2] sono legate alla relazione complessa tra l'osservatore e l'esperimento. La prima prende in considerazione la posizione e la quantità di moto, la seconda l'energia ed il tempo. Entrambe le equazioni assumono la reversibilità del tempo e sono valide in un certo istante. Entrambe le equazioni sono valide all'interno del paradigma della meccanica quantistica e trattano di quantità conservative (massa, energia) e non delle proprietà evolutive proprie dei sistemi viventi. È possibile unire questi concetti con quello di un'indeterminazione generalizzata associata alla presenza nell'Universo sia di quantità conservative (spazio, massa) che evolutive (tempo, arco di vita). Ma l'irreversibilità del tempo non viene presa in considerazione da Heisenberg, perché il paradigma della meccanica quantistica assume il tempo come reversibile (le equazioni corrispondenti hanno a che fare con quantità conservative: massa ed energia).

Trattando di sistemi evolutivi (viventi), invece, possiamo introdurre un terzo concetto, *l'Indeterminazione Termodinamica,* collegato al carattere intrinsecamente irreversibile del tempo. L'indeterminazione termodinamica nasce dall'esistenza sperimentale della freccia del tempo e dall'evidenza sperimentale che, durante la misura, il tempo scorre. Poiché durante l'intervallo dell'esperimento (misura) il tempo scorre, anche le quantità conservative (energia e/o posizione) possono cambiare portando ad un'ulteriore indeterminazione.

Recentemente, gli astrofisici hanno scoperto che la massa di una stella è collegata al tempo di vita della stella stessa. Maggiore è la massa, minore è il tempo di vita. Questa scoperta è consistente con il principio di indeterminazione. Sembra dunque che esista una specie di relazione d'indeterminazione tra spazio e tempo, nella quale lo spazio è legato alla massa e all'energia, quindi a quantità conservative.

Fotosintesi ed entropia

Oltre cento anni fa, nel 1886, Ludwig Boltzmann, uno dei padri fondatori della moderna chimica-fisica, si occupava della relazione tra materia ed energia. Secondo Boltzmann, "la lotta per la vita non è una lotta né per gli elementi di base né per l'energia, ma è una lotta per l'entropia (negativa) che si rende disponibile nel trasferimento dal caldo Sole alla fredda Terra. Utilizzando al massimo questo trasferimento, le piante forzano l'energia del Sole per operare sintesi chimiche,

prima che essa raggiunga il livello termico della superficie terrestre" (da Huber, 1989: comunicazione personale di G. Giacometti).

La funzione fotosintetica contrasta il *degrado* entropico in quanto tende a "mettere in ordine" la materia disordinata: la pianta preleva infatti materia disordinata (le molecole povere di energia e in agitazione disordinata dell'acqua e dell'anidride carbonica) e, grazie all'energia solare, la organizza costruendo strutture complesse. La fotosintesi si rivela dunque come il processo che, catturando energia solare e diminuendo l'entropia del pianeta, costruisce la strada maestra dell'evoluzione biologica.

Si può così leggere tutta la storia della vita sulla Terra, ovvero della fotosintesi e dell'evoluzione, come quella di un pianeta singolare che ha imparato a catturare l'energia solare ed a nutrirsi di entropia "negativa" dall'universo, creando così strutture complesse (gli organismi viventi).

La diminuzione di entropia nella biosfera dipende dalla capacità di catturare energia dal Sole e di reirradiarla nello spazio esterno sotto forma di energia infrarossa. Se questo secondo processo fosse impedito, cioè se il pianeta fosse avvolto da una membrana adiabatica (effetto serra), tutti i processi viventi cesserebbero di esistere in tempi brevissimi ed il sistema decadrebbe verso lo stato di equilibrio, cioè verso la morte entropica. Un serbatoio di scarico è necessario alla vita tanto quanto una sorgente di energia!

Nei sistemi viventi (lontani dall'equilibrio termodinamico) l'entropia non è una funzione di stato. Il ruolo dell'entropia è fondamentale nella termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio. Potremmo dire che l'entropia esiste di *per sé*, è una funzione non conservativa ed è legata all'evoluzione. E questo è un gran passo avanti, perché supera il vecchio dilemma se l'entropia sia l'ombra dell'energia oppure se l'energia sia l'ombra dell'entropia e non riduce la geniale intuizione dell'entropia a puro dogma energetico.

Il primo principio formula il concetto di energia all'interno di una cornice conservativa; il secondo formula il concetto di entropia all'interno di una cornice evolutiva. Qui sta il punto di unione tra biologia evolutiva e fisica meccanicistica. Schrödinger (1944) aveva visto giusto introducendo il concetto di neghentropia: un sistema vivente assorbe neghentropia dall'ambiente esterno e si struttura ed evolve sulla base di tale interazione. Da una parte è importante studiare i flussi di energia e di materia, grandezze di per sé *conservative*; dall'altra è importante studiare i flussi dell'entropia, grandezza di per sé *evolutiva* e non conservativa. La comparsa di un termine di produzione entropico – o "termine sorgente", secondo la terminologia di Aoki (1988, 1990) – è proprio lo spartiacque che divide il mondo evolutivo dal caso conservativo dell'energia e della materia.

Ma se l'energia e la massa sono di per sé conservative e l'entropia è di per sé evolutiva, come può l'entropia essere calcolata soltanto sulla base di quantità energetiche e di massa (*paradosso dell'entropia*)? Questa domanda rimane ancora oggi senza risposta (Coveney, 1992: 203-212) e non ci resta che prendere atto che il punto di vista ecodinamico è diverso da quello della fisica classica e dell'ecologia classica.

Andiamo ora ad osservare le differenti relazioni che hanno rispettivamente l'energia e l'entropia nei confronti dell'informazione. Un flusso di energia può portare a distruzione (aumento di entropia: ad esempio una palla di cannone) o ad organizzazione (diminuzione di entropia: ad esempio la fotosintesi). O ancora: la stessa quantità di energia può distruggere un muro oppure uccidere un essere umano e, ovviamente, nel secondo caso la perdita di informazione e di neghentropia è molto maggiore. Non c'è mai equivalenza tra energia ed informazione.

Fig. 1 - La morte del cervo.

Se la storia e la successione degli eventi hanno rilevanza scientifica, il concetto stesso di funzione di stato andrebbe rivisto ad un livello più alto di complessità. Assume inoltre particolare rilievo la singolarità dell'evento: se con una certa quantità di energia viene ucciso un bruco, si ha la perdita dell'informazione contenuta nel bruco stesso. Ma se quel bruco fosse l'ultimo esistente, anche se identico agli altri, si perderebbe definitivamente un'irripetibile informazione genetica: perché l'*ultimo* bruco è diverso dal bruco *ennesimo*.

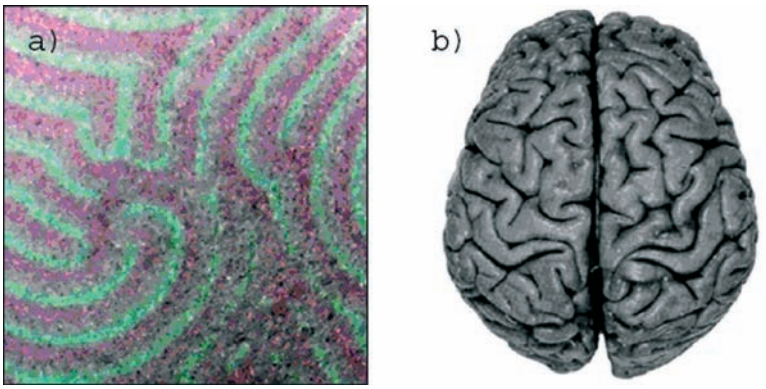


Fig. 2 - (a) Strutture labirintiche nel sistema lipide/BZ. (b) Cervello umano. Si pensa che le involuzioni tra creste (*gyri*) e valli (*sulci*) che formano la corteccia cerebrale siano originate da processi di reazione-diffusione durante lo sviluppo del feto.

Infine, se consideriamo la transizione evolutiva dai sistemi viventi anaerobici a quelli aerobici, il rapporto tra l'energia e l'informazione immagazzinata è chiaramente differente. L'informazione che porta all'evoluzione ed all'organizzazione dei due sistemi non è proporzionale al flusso di energia.

L'entropia rompe la simmetria del tempo e può variare indipendentemente da una variazione di energia, in quanto l'energia è una quantità conservativa e reversibile, mentre l'entropia è di per sé evolutiva ed irreversibile. Il flusso di una quantità non conservativa, la neghentropia, fa scorrere la vita e la presenza di un termine di produzione neghentropico fa la differenza rispetto ad analisi basate esclusivamente su termini conservativi (energia e materia).

La situazione è spiegata nella figura 1, relativa alla "morte del cervo": nell'istante della morte, la massa e l'energia del cervo non cambiano, mentre quello che cambia è l'entropia. Esiste uno spartiacque entropico tra i sistemi (viventi) lontano dall'equilibrio e i sistemi classici (il cervo morto o qualsiasi altro sistema inorganico non vivente).

La conclusione a cui si può giungere, fortemente in disaccordo con la termodinamica classica, è che nei sistemi lontani dall'equilibrio termodinamico (biologici e ecologici), *l'entropia non è una funzione di stato, poichè possiede proprietà evolutive intrinseche*.

Nell'ambito della fisica evolutiva, dobbiamo avere a che fare con funzioni *goal* anziché con quelle di stato: i modelli ecodinamici devono basarsi su relazioni che si evolvono nel tempo. La termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio è la base per una nuova descrizione della natura.

La reazione di Belousov-Zhabotinsky

In una vasta gamma di sistemi di reazione-diffusione suscettibili di produrre oscillazioni chimiche, è stata osservata la formazione di strutture a bersaglio caratterizzate dall'emissione di pulsazioni periodiche da uno stesso centro iniziatore (*pacemaker*). In molte occasioni questi sistemi sono in grado di dare luogo alla formazione di strutture più complesse, come ad esempio spirali rotanti che si propagano nel mezzo di reazione (Kapral & Showalter, 1995). La coesistenza di onde viaggianti e di trame stazionarie è stata osservata durante l'evoluzione della reazione di Belousov-Zhabotinsky (BZ) nell'ambiente anisotropico generato da un sistema binario acqua/lipide. Il Gruppo di Ecodinamica di Siena ha cercato di riprodurre la complessità biologica dell'ambiente cellulare investigando un sistema formato da un oscillatore BZ incorporato in diverse fasi lamellari acqua/fosfolipide (Magnani *et al*., 2004; Marchettini *et al*., 2006); tutti i lipidi utilizzati sono, appunto, tra i maggiori costituenti delle membrane plasmatiche. Il sistema acqua/lipide è sicuramente un buon modello per l'ambiente cellulare, in quanto in tutti i sistemi viventi i vari domini acquosi sono separati da membrane la cui unità strutturale di base è costituita da un singolo bistrato fosfolipidico. Inoltre molti sistemi biologici presentano bistrati lipidici impilati uno sul-

l'altro; alcuni esempi includono la struttura mielinica che circonda gli assoni nervosi (Davis *et al*., 1999), le membrane dei bastoncelli nella retina (Dratz & Hargrave, 1983) e la matrice lipidica extracellulare dello strato corneo (Sparr & Wennerström, 2001). I risultati del nostro lavoro sono stati messi a confronto con alcuni sistemi biologici reali in cui si pensa che la propagazione di onde possa giocare un ruolo chiave. Questi sono illustrati nelle figure 2b, relativa alla corteccia cerebrale di un mammifero (Cartwright, 2002) e 3b, relativa ad una colonia batterica della muffa *Dictyostelium discoideum* (Foerster *et al*., 1990), e comparati con le strutture ottenute nei sistemi BZ/lipide (rispettivamente figure 2a e 3a).

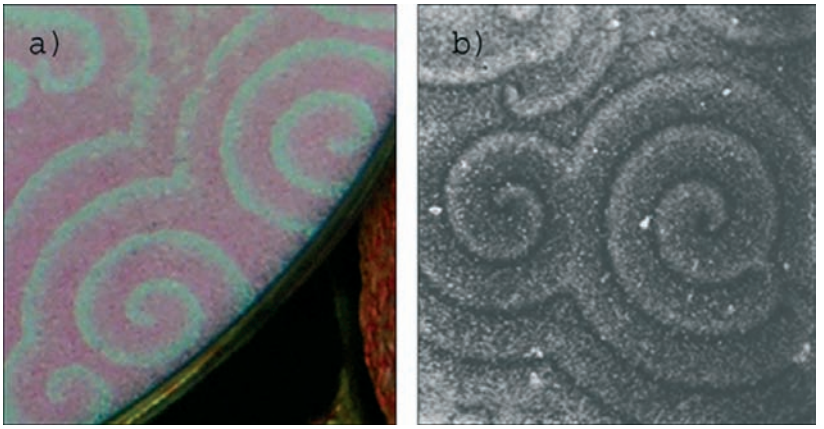


Fig. 3 - (a) Spirali che ruotano verso l'interno nel sistema lipide/BZ. (b) Colonia batterica di *Dictyostelium discoideum*. Le spirali sono causate dal movimento delle cellule in risposta ad onde di cAMP emesse periodicamente dal centro di aggregazione.

Un altro interessante risultato ottenuto nel laboratorio di Siena è stato la scoperta della scomparsa di tutte le strutture tipiche del sistema BZ quando il rapporto fase acquosa/lipide è stato mantenuto basso. Per concentrazioni acquose al di sotto del 70% in peso rispetto ai lipidi, non sono stati osservati fenomeni di auto-organizzazione. Poiché tutte le forme di vita conosciute e tutte le soluzioni fisiologiche presentano un contenuto d'acqua che varia nell'intervallo 60-99% (cioè l'acqua è la molecola della vita), le nostre scoperte possono aprire nuove prospettive nella comprensione dei meccanismi della vita, specialmente per quello che riguarda il ruolo dell'acqua nei sistemi auto-organizzanti (strutture dissipative).

L'impronta vocale come indicatore di biodiversità

È importante notare che la produzione della voce non è un fenomeno di origine soltanto meccanica, ma dipende anche da fattori interni non ancora chiari e riproducibili. Comunque sia, l'*attrattore* che descrive la dinamica delle corde vocali puo' essere ricostruito applicando il metodo dei ritardi di Takens. L'impronta vocale che se ne estrae (Fig. 4) rappresenta un potente indicatore di biodiversità.

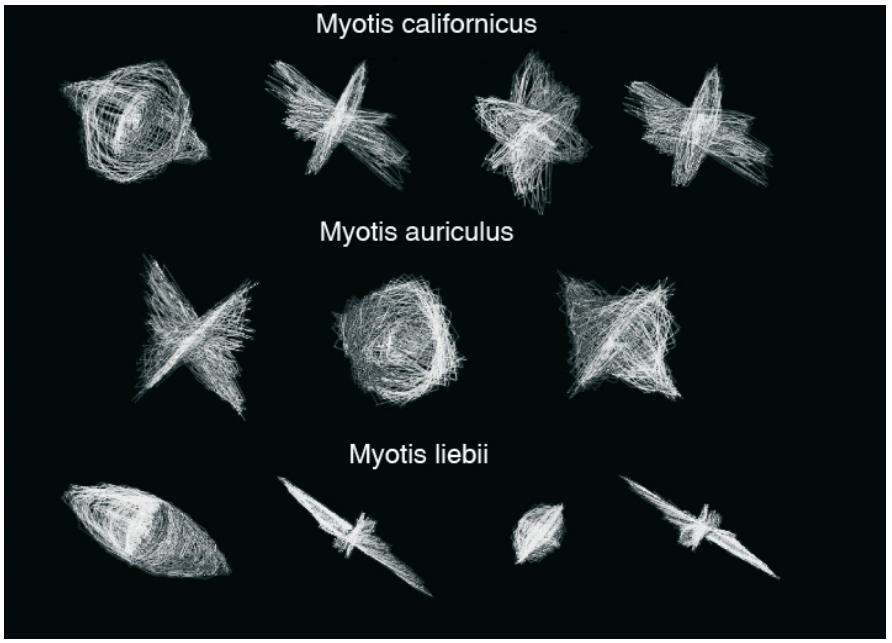


Fig. 4 – Un esempio di ricostruzione di attrattori, effettuato su chirotteri del genere *Myotis*.

La ricostruzione dell'attrattore è una tecnica ottima per rivelare la dinamica di un sistema, sebbene i dati reali siano fortemente non stazionari. D'altra parte l'attrattore non fornisce informazioni sull'evoluzione temporale della curva nello spazio delle fasi, di fondamentale importanza nell'analisi di segnali biologici.

Nel 1987, Eckmann propose uno strumento per la visualizzazione di dinamiche alto-dimensionali in un grafico bidimensionale: il *recurrence plot* (RP) (Eckmann *et al*., 1987).

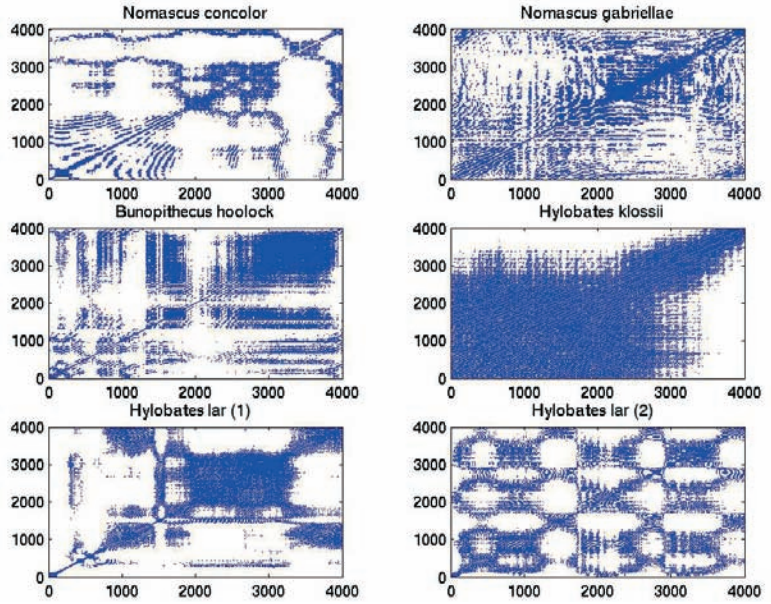


Fig. 5 - *Recurrence plot* delle registrazioni dei suoni emessi dai gibboni. Ogni richiamo è caratterizzato da strutture differenti. Anche i due richiami dei gibboni *Hylobates* lar, pur essendo simili nel dominio della frequenza, hanno un RP totalmente differente. Abbiamo trovato l'impronta vocale?

Consideriamo i richiami dei gibboni *Nomascus concolor*, *Nomascus gabriellae, Bunopithecus hoolock, Hylobates klossii* e *Hylobates lar*. Questi richiami, detti "note", sono stati selezionati all'interno di una struttura più complessa indicata come "canzone", che secondo la definizione data da Thorpe (1961) si compone di "una serie di note, generalmente di tipo diverso, emessa in successione e riconducibile ad una determinata struttura sequenziale nel tempo".
L'analisi basata sui RP ha messo in evidenza una sorprendente caratterizzazione dei richiami. Le strutture che si osservano in figura 5 sono completamente differenti da specie a specie. Ancora più interessanti sono i RP di due individui differenti di *Hylobates lar*: dal punto di vista spettrografico i loro richiami sono estremamente simili, mentre nei RP mostrano differenze sostanziali.

Dinamiche dei sistemi urbani: suggestioni della fisica evolutiva

Nelle loro interpretazioni artistiche intuitive, spesso provocatorie o espresse in forma di metafore urbane, architetti oggi molto noti come Zaha Hadid, Frank Gehry, Peter Eisenman, Daniel Libeskind, Enric Miralles ed altri sembrano riflettere le novità del nuovo paradigma scientifico. Gli edifici progettati da questi architetti simulano strutture dissipative auto-organizzate, geometrie frattali e attrattori strani, a partire da una composizione di forme casuale, arbitraria, stocastica.

Il disegno del Museo Nazionale delle Arti del XXI secolo a Roma (MAXXI) di Zaha Hadid è concepito come un nodo, un crocevia di flussi di relazioni le quali provengono potenzialmente dal contesto urbano più prossimo o da luoghi remoti e si intrecciano, si sovrappongono e si attraversano. Nel sito del progetto, le molteplici connessioni con l'esterno si congelano in una forma insolita e sorprendente, una struttura auto-organizzata che simula, appunto come metafora, lo stato stazionario di un sistema lontano dall'equilibrio. Allo stesso modo, la forma introversa decostruita del Museo Guggenheim a Bilbao di Frank Gehry (Fig. 6) è concepita come una collisione di volumi e spazi inusuali che risultano dalla deformazione di superfici convesse, modellate e sospese, gravitanti intorno ad un'orbita virtuale non dissimile da un attrattore strano. Anche il progetto del *Virtual Guggenheim Museum* dell'Asymptote Studio (Fig. 7) ha la forma di un nastro di Moebius che si contorce nel *cyberspazio* ed è molto simile all'attrattore strano di Lorenz.

Biochimica-fisica semantica

Un tavolo d'olmo è fatto della stessa materia, dello stesso legno dell'olmo-albero, ma dal punto di vista del comportamento naturale e chimico-fisico i due sistemi sono completamente diversi. Non solo perché l'albero è in grado di crescere (metabolismo) e di riprodursi, ma anche perché l'olmo-albero contiene le informazioni e la capacità di auto-organizzarsi che il tavolo d'olmo non ha. Vedremo che queste proprietà hanno a che fare con le strutture dissipative di Prigogine, con l'autopoiesi di Varela e con l'epigenesi. L'albero-olmo è un sistema termodinamico lontano dall'equilibrio in grado di mantenersi in vita, mentre il tavolo d'olmo ha solo la possibilità di raggiungere

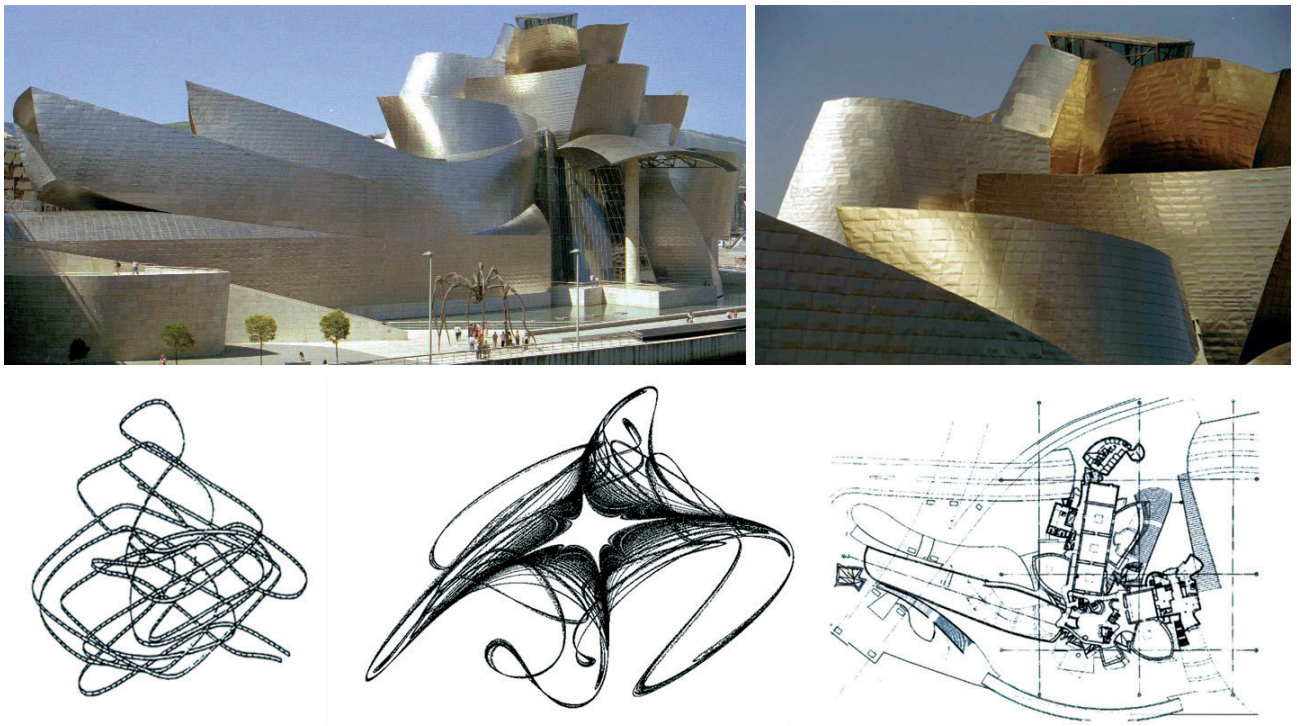


Fig. 6 - L'attrattore strano di Lorenz e il Virtual Guggenheim Museum dell'Asymptote Studio (1999).

nel tempo l'equilibrio termodinamico, obbedendo alle leggi della chimica-fisica classica. Le proprietà del tavolo d'olmo dipendono dalla somma delle parti (molecole) che lo compongono.

Anche l'albero-olmo raggiungerà l'equilibrio termodinamico, ma solo quando passerà dallo stato di "vivente" allo stato di "non-vivente". Le scienze che studiano il "vivente" sono diverse dalle scienze che studiano il "non-vivente" in termini sia logici, sia di proprietà (ad esempio il ruolo dell'irreversibilità del tempo), sia epistemologici (Pascal contro Cartesio), sia di complessità, sia matematici (ad esempio funzioni *goal* contro funzioni di stato). Ovviamente, per l'albero-olmo vale la fondamentale legge di Pascal: l'intero è più della somma delle sue parti. Il ruolo delle informazioni contenute nell'albero-olmo e dei loro significati (semantica) fa la differenza tra l'albero-olmo e la tavola-olmo.

Roberto Fondi (2005) sottolinea un passo importante nella definizione dello spartiacque tra i sistemi viventi e non. Egli si domanda:

"In che cosa una cellula vivente differisce da tutti gli altri sistemi fisici? Alla domanda sono state date molte risposte, ma la più appropriata sembra essere la seguente: *la cellula differisce da tutti gli altri sistemi fisici per l'aumento di complessità inerente al suo sviluppo epigenetico*, cioè dovuto ad una serie di genesi successive, ciascuna delle quali responsabile della comparsa di *nuove* strutture e di *nuove* funzioni. Nessuna macchina o sistema fisico non vivente, infatti, è in grado di aumentare la sua complessità in un modo comparabile alla più semplice fra le cellule viventi.

Com'è noto, una delle pietre miliari della scienza del XX secolo è stata la scoperta che nel DNA l'informazione genica, esattamente allo stesso modo in cui l'informazione di una parola è determinata dall'ordine lineare delle sue lettere, è determinata dall'ordine *lineare* dei suoi nucleotidi, ogni tripletta dei quali 'richiama' uno specifico amminoacido da destinare alla composizione delle molecole proteiche. Rimane però il fatto che la funzione delle proteine dipende soltanto dalla disposizione *tridimensionale* dei loro amminoacidi; e poiché non possono sicuramente essere i geni a trasportare l'informazione necessaria all'assemblaggio delle proteine in tale spazio (sarebbe, in pratica, come se uno scrivesse su una strisciolina di carta la parola 'albicocca' e poi pretendesse che la strisciolina si avvolgesse su se stessa e diventasse un'albicocca vera!), ne deriva che l'enorme quantità d'informazione necessaria a tale assemblaggio non può che risultare dall'aumento enorme di complessità inerente ad un processo di tipo epigenetico."

La visione deterministica del caso e della necessità (Monod, premio Nobel in Medicina e Biologia) diventa obsoleta alla luce della visione termodinamica dell'auto-organizzazione (Prigogine, premio Nobel per la Chimica).

Nel suo libro *I codici organici. La nascita della biologia semantica,* Marcello Barbieri (2001) formula nuove proposte riguardo al ruolo dei differenti codici genetici nella storia dell'evoluzione biologica. Barbieri presenta un modello matematico di epigenesi e dà il suo contributo alla scienza con l'introduzione del concetto di *biologia semantica*.

Prima di analizzare questo concetto, vale la pena sottolineare che le strutture dissipative di Prigogine e l'autopoiesi di Varela (cfr.: Varela & Maturana, 1980) sono i prerequisiti per questa visione della biochimica-fisica.

Adesso possiamo vedere le strutture dissipative e l'autopoiesi come due facce della stessa medaglia e richiamare la definizione della vita data da Varela nel 1996: "Un sistema fisico è definito come sistema vivente se è in grado di trasformare materia-energia esterna in processi interni di automantenimento e autogenerazione. Questo senso comune, questa definizione mascroscopica, trova il suo equivalente a livello cellulare nella nozione di autopoiesi."

Secondo Barbieri, la cellula è un sistema autopoietico ed epigenetico fatto di tre categorie fondamentali – genotipo, ribotipo e fenotipo – il quale contiene perlomeno una memoria organica – il genoma – e un codice organico – il codice genetico. La teoria semantica si basa sull'idea che una cellula è un sistema epigenetico ed asserisce che i codici e le memorie organiche sono indispensabili. Solo essi, infatti, possono produrre un fenotipo più complesso del rispettivo genotipo. Se la cellula vivente è un sistema epigenetico, allora è destinata ad avere codici organici e quindi a formare un sistema semantico.

La storia è importante, fa notare Niles Eldredge (1998): "Quello che però intendo dire senza titubanze è che la semplice estrapolazione verso l'alto di una modalità competitiva della trasmissione dell'informazione genetica da una generazione alla successiva può spiegare solamente una frazione delle modalità che comunemente incontriamo nella storia evolutiva della vita. La pecca di tale concezione riduzionistica ed extra-popolazionistica è la propensione a 'gesticolare' per indicare gli eventi fisici come incidenti isolati che avviano la selezione in una direzione piuttosto che in un'altra. Questa vecchia e ritrita spiegazione 'di principio' del processo evolutivo non adempie al proprio compito. Non collega esplicitamente, in una cornice teorica generale, i sistemi biologici evolutivi con il resto del mondo fisico. Infatti, insistere su una forma di competizione internalizzata tra i geni stessi per essere rappresentati nella generazione successiva, come motore del cambiamento evolutivo, significa sostituire un modello pseudo-fisico e al contempo abbandonare la ricerca di collegamenti simili a leggi con l'universo fisico reale. (…) Ora che la tettonica a placche ha mescolato lo studio delle modalità della storia geologica con la conoscenza dei processi dinamici che producono tali modalità, e ora che sono stati anche compiuti alcuni progressi nell'integrazione tra le modalità della storia biologica e la comprensione teorica del processo evolutivo, è giunto il momento di riconoscere e di sposare il contesto fisico dei sistemi biologici con la storia evolutiva della vita."

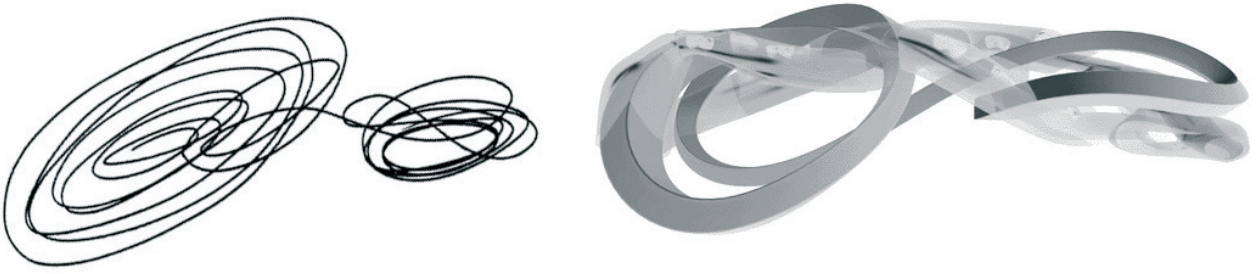


Fig. 7 - L'attrattore strano di Lorenz e il Virtual Guggenheim Museum dell'Asymptote Studio (1999).

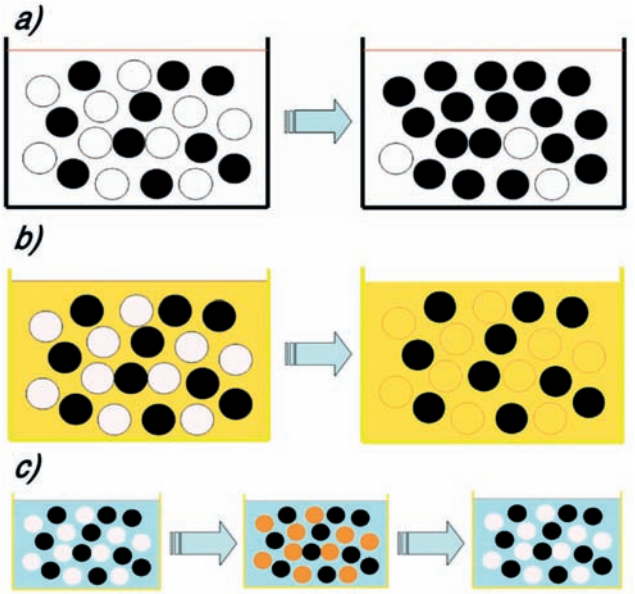


Fig. 8 - Eventi inaspettati che possono accadere nei sistemi viventi: a) ossidazione; b) effetto camaleonte; c) reazione oscillante.

Il paradosso della probabilità

Nella sua dissertazione tenuta in occasione del ricevimento dall'Università di Siena della laurea *Honoris Causa* in Scienze Geologiche, Walter Alvarez, geologo all'Università di Berkeley cui si deve una nuova teoria sull'estinzione in massa del Mesozoico terminale, ha proposto alcune notevoli riflessioni sul ruolo degli eventi rari.

"Cicli, frecce e grandi uomini o grandi eventi. Ecco un concetto fondamentale che gli storici della Terra e dell'Uomo possono esplorare insieme. Ma questo non è che l'inizio. Gli storici e i filosofi hanno dibattuto per più di duemila anni se il futuro sia predeterminato o se esso possa essere indirizzato verso percorsi specifici attraverso il libero arbitrio umano. La matematica della teoria del caos e della forte dipendenza degli eventi da piccolissime variazioni delle condizioni iniziali ha provato, penso, negli ultimi due decenni, che il futuro non può essere predeterminato. È contingente – cioè dipende da una miriade di eventi fortuiti imprevedibili, come l'impatto del limite K/T (Cretaceo-Terziario). Che concetto straordinario abbiamo da esplorare in entrambe le nostre discipline storiche!"

E ancora:

"Da esseri umani, noi non abbiamo più bisogno di operare solo attraverso il criterio spietato della selezione naturale, secondo il quale ogni individuo è un singolo esperimento, e solo i migliori sopravvivono. Invece, possiamo fare molti esperimenti innocui, nella nostra mente, e scegliere il risultato che noi riteniamo sia il migliore. 'Diventerò un musicista o un accademico?', 'Studierò storia o geologia?' Noi possiamo costruire tutto questo nella nostra mente e decidere, senza il timore di non sopravvivere se scegliamo il percorso sbagliato. (...). È questa capacità di formulare pensieri concettuali che distingue noi esseri umani e fa della nostra storia una storia unica, benché in qualche modo interconnessa con la più antica storia della Terra. Possiamo immaginare idee innovative e scegliere di agire in base a quelle."

Le Università di Siena e di Berkeley, dunque, diventano luoghi nei quali pensare, parlare e scrivere riguardo a concetti come "tempo", "vita", "storia", "Dio", "giustizia", "arte" e "musica".

Qualsiasi evento ha luogo in maniera stocastica in quanto viene preceduto da altri eventi. Esistono quindi vincoli genetici ed ambientali. In particolare, gli eventi evolutivi dipendono dal tempo e sono irreversibili. Sono quindi determinati dagli eventi passati, ma il loro futuro è altamente imprevedibile ed ha sempre un elemento stocastico o probabile. Eventi non osservati in precedenza non possono essere predetti, ed eventi rari ed estremi possono cambiare completamente le dinamiche dei sistemi complessi.

La figura 8 mostra l'*emergenza* di un paradosso della probabilità in presenza dei seguenti eventi:

supponiamo che nel classico gioco delle palline bianche e nere avvenga un fenomeno di ossidazione (un evento chimico) sconosciuto all'osservatore. La probabilità di estrarre una pallina bianca (o nera) non sarà più del 50% (potrei conoscere l'evento, solo se il fenomeno di ossidazione avesse mutato le sfere bianche in sfere grigie);

supponiamo adesso che avvenga un evento evolutivo, connesso con l'effetto "camaleonte" (sensibile all'ambiente circostante). Di nuovo, la probabilità non sarà più *fifty-fifty* e l'intervallo dell'evento dipenderà dal "camaleonte";

supponiamo infine che avvenga un evento oscillante, simile alla reazione BZ precedentemente osservata. La situazione sarà più complessa e dipenderà da numerosi parametri. Ancora una volta l'osservatore non avrà la possibilità di preve-

dere quale sfera sarà estratta dal contenitore.

Possiamo dunque concluderne che lontano dall'equilibrio non è possibile applicare l'approccio classico della teoria della probabilità, ma nuovi modelli dovranno essere sviluppati a partire dall'equazione di Boltzmann $S = k \ln W$.

Conclusioni

L'Ecodinamica o Termodinamica ecologica devono basarsi su un rigoroso approccio matematico, ma le equazioni devono essere irreversibili rispetto al tempo e non basate su modelli rigidi, ma aperte quanto basta per contenere elementi narrativi. Un approccio logico-temporale è necessario, in quanto anche un leggero movimento delle ali di una farfalla può causare un ciclone. Per salvare il pianeta, per evitare un'altra New Orleans, i modelli devono cogliere il futuro e la chiave di ciò va indicata appunto nella sequenza di eventi rari.

Una visione della natura puramente quantitativa, che neghi la fondamentale categoria ecologica della qualità e l'importanza dell'elemento estetico, mostra oggi i suoi limiti di fronte alla complessità delle dinamiche temporali del sistema biologico (la biosfera) e dell'ecosistema globale. Dinamiche temporali consistenti in molteplici relazioni coevolutive fondate sulle forme, sui colori, sui suoni, sugli odori, sui sapori (Tiezzi, 1998).

La storia della natura è una storia *sistemica* ed *evolutiva*. È una storia in cui quantità e qualità sono continuamente co-presenti. È una storia in cui l'*estetica* gioca un ruolo determinante.

In questo contesto il tempo modula forme e strutture, suoni e colori. Tutta la storia dell'evoluzione biologica è intrisa di queste proprietà. Come può, allora, la scienza occidentale restare ancorata ad una lettura meramente "geometrica" della natura, a una concezione strettamente meccanicistica delle leggi fisiche?

La natura ha carattere evolutivo e più si cerca di comprenderla – nel senso etimologico di racchiuderla ed imprigionarla nei nostri schemi – più il suo scorrere crea relazioni e complessità, memorie e possibilità creative. È lo stesso passare del tempo che non ci permette mai di cogliere l'attimo fuggente della conoscenza globale.

La natura è un'opera d'arte. Per capirla bisogna guardarla tutta intera come "l'affresco" di Bergson, contemplarla con gli occhi della nostra cultura e con quelli dei nostri sensi. Sentirla, pensarla, lasciarsi attraversare dalle sue trame e dai suoi ritmi. Percorrere i meandri delle strutture che connettono ora il colore della malva con il turchese delle penne del Martin pescatore, ora le forme di una pietra con quelle di una bella donna, ora il canto del rigogolo con il fruscio del vento, ora il profumo del sandalo con l'odore penetrante della resina, ora il sapore dell'aceto balsamico con il retrogusto aromatico del Gewurz-Traminer. Farsi inebriare dai cinque sensi, pensando.

Robert Ulanowicz (2005) ha recentemente pubblicato un'interessante sintesi epistemologica. La sua "ecologia dei processi" descrive lo sviluppo ecosistemico come la risultante perlomeno di due tendenze contrarie come nella dialettica: una direzione è rappresentata dalla tendenza entropica verso la disorganizzazione e il decadimento, che può interessare eventi singoli che si sottraggono alla quantificazione probabilistica. In opposizione a questa ineluttabile tendenza ci sono *configurazioni di processi* auto-impartite che generano retroazioni positive o autocatalisi, le quali a loro volta conferiscono strutture e regolarità agli ecosistemi.

Ciò richiama una delle prime divisioni avvenute nella filosofia occidentale: quella tra le scuole del pensiero ellenistico di Elea e di Mileto. La personalità centrale della scuola eleatica fu Platone, che riteneva che il mondo fosse formato da "essenze" eterne ed immutabili. Quelli che uno percepisce come cambiamenti, non sarebbero altro che distrazioni illusorie le quali impediscono il reale riconoscimento delle essenze di base. Invece Eraclito fu il maggior esponente della scuola milesia, la cui famosa citazione *panta rei* evidenzia come l'unica costante nel mondo sia il cambiamento. Il fatto che nessuno possa mettere mai per due volte il piede nello stesso identico fiume è un esempio comune di quest'affermazione.

La seconda legge della termodinamica è decisamente un'affermazione milesiana, ed ha contribuito ad un numero di ipotesi per lo sviluppo degli ecosistemi. L'ecologia dei processi, l'idea che gli oggetti sono creati da "configurazioni di processi", fornisce un modello più coerente ed aperto nei

confronti del problema delle origini della vita.

Come il mondo che essa descrive, la scienza degli ecosistemi si trova dunque in un processo in continuo divenire (Prigogine, 1980).

È anche importante sottolineare che:

- lo Spazio è, per sua natura, reversibile;
- il Tempo è, per sua natura, irreversibile.

Per ottenere una descrizione ecodinamica, dobbiamo spostare la nostra attenzione dalle funzioni di stato alle funzioni *goal* ed alle configurazioni dei processi.

Possiamo così concludere con le seguenti due affermazioni di Jørgensen:

Molti sistemi ordinati hanno proprietà emergenti, definite come proprietà che un sistema possiede in aggiunta alla somma delle proprietà delle sue componenti (ogni sistema è più della somma delle sue componenti). Wolfram (1984a, 1984b) chiama questi sistemi *irriducibili*, in quanto le loro proprietà non possono essere conosciute attraverso una semplice riduzione a qualche osservazione del comportamento delle componenti.

La presenza di sistemi irriducibili è coerente con il teorema di Gödel, secondo cui non sarà mai possibile dare una descrizione del mondo che sia dettagliata, completa e comprensibile. La maggior parte dei sistemi naturali sono irriducibili, ed impongono, dunque, profonde restrizioni allo stesso riduzionismo della scienza.

I nostri auguri alla nuova scienza della fisica evolutiva vanno perciò fatti con un brindisi speciale, un brindisi narrativo. Per gustare veramente un buon vino si deve prima guardarne il colore dal cristallo trasparente del calice, poi odorarne il *bouquet* o profumo. Alla vista e all'odorato devono affiancarsi gli altri due sensi: il tatto della lingua per sentirne il "corpo" ed il gusto del palato per conoscerne il sapore. Manca il quinto senso: quello dell'udito. Per questa ragione si fanno tintinnare i bicchieri nel brindisi.

La vera conoscenza scientifica deve far uso contemporaneo della nostra razionalità e dei nostri cinque sensi. Del resto questo è stato il nostro processo cognitivo nell'evoluzione biologica.

Siamo figli della storia coevolutiva di natura e uomo. Sentire la natura significa attingere al libro delle millenarie esperienze della nostra Madre Terra. Per avere una conoscenza – scientifica ed artistica – abbiamo bisogno di quella che Novalis nel 1789, nel suo *Die Lehrlinge zu Sais* (*I discepoli di Sais*), chiamava " deliziosa passione per le trame della natura".

Se vogliamo veramente percorrere il sentiero tra estetica e scienza, abbandonare i paradigmi della rigidità ed assumere fino in fondo il ruolo del tempo nella conoscenza scientifica e artistica, è necessario mollare gli ormeggi dell'arrogante scetticismo di molti scienziati ed avere il coraggio di esplorare forme nuove di conoscenza.

Il percorso qui proposto tenta di coniugare le potenzialità creative dell'arte e della scienza. Esso punta ad una simbiosi di istinto e di razionalità che non abbandoni mai l'uno o l'altra, all'insegna di un approccio olistico nella conoscenza della natura, che sia suscettibile di far tesoro anche delle millenarie esperienze provenienti da altre tradizioni.

L'articolo riassume i contenuti principali del volume di Enzo Tiezzi, *Steps Towards an evolutionaruy physics* (in stampa presso WIT Press, Southampton), nel quale le idee dell'autore sono combinate con i risultati delle ricerche del gruppo di Ecodinamica dell'Università di Siena da lui diretto.

Testi citati

Alvarez W. (2005) – *Verso una sintesi della storia dell'uomo e della Terra*. Dissertazione tenuta in occasione del conferimento della laurea *Honoris Causa* in Scienze Geologiche (Siena, 11 marzo 2005). Dipartimento di Scienze della Terra. Università di Siena.

Aoki I. (1988) – *Entropy laws in ecological networks at steady state*. Ecological Modelling, 42, 289-303.

Aoki I. (1990) – *Monthly variations of entropy production in lake Biwa*. Ecological Modelling, 51, 227-232.

Barbieri M. (2001) – *I codici organici*. PeQuod, Ancona (tr. ingl.: *The Organic Codes. The Birth of Semantic Biology*. PeQuod, Ancona 2002; Cambridge University Press, 2003).

Cartwright J.H.E. (2002) – *Labyrinthine Turing Pattern Formation in the Cerebral Cortex*. J. Theor. Biol., 217, 97-103.

Coveney P. (1992) – *Caos, entropia e la freccia*

del tempo. In: "Caos. Una scienza per il mondo reale." (Hall, ed.), Muzzio, Padova.

Davis A.D., Weatherby T.M., Hartline D.K. & Lenz P.H. (1999) – *Myelin-Like Sheaths in Copepod Axons*. Nature, 398, 571-571.

Dratz E.A. & Hargrave P.A. (1983) – *The Structure of Rhodopsin and the Rod Outer Segment Disk Membrane*. Trends Biochem. Sci., 8, 128-131.

Eckmann J.P., Kamphorst S.O. & Ruelle D. (1987) – *Recurrence Plots of Dynamical Systems*. Europhys. Lett., 4, 973.

Eldredge N. (1998) – *The Pattern of Evolution*, W.H. Freeman & Co., New York (tr. it.: *Le trame dell'evoluzione*. Cortina, Milano 2002).

Foerster P., Müller S.C. & Hess B. (1990) – *Curvature and spiral geometry in aggregation patterns of* Dictyostelium discoideum. Development, 109, 11-16.

Fondi R. (2005) – *Evoluzionismo e olismo: due paradigmi interpretativi differenti per il fenomeno dell'evoluzione biologica*. In: "Logica dell'evoluzione. Spunti di riflessione" (Scapini, ed.), Firenze University Press, Firenze (in stampa).

Heisenberg W. (1927) – *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*. Zeitschrift für Physik, 43, 172-198.

Ho M.W. (1998) – *The Rainbow and the Worm*. World Scientific Publ. Co., Singapore.

Huber R. (1989) – Angewante Chemie, 28, 848.

Jørgensen S.E. (2005) – *Toward a Thermodynamics of Biological Systems*. Int. J. Ecodynamics, 1, 9-27, 2006 (in stampa).

Kapral R. & Showalter K. (eds.) (1995) – *Chemical Waves and Patterns*. Kluwer, Dordrecht, 1995.

Kuhn T.S. (1962) – *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago (tr. it.: *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Einaudi, Torino 1969 e 1978).

Lorenz K. (1983) – *So kam der Mensch auf den Hund*, Deutscher Taschenbuch Verlag GMBH & KO.KG, München (tr. it.: *E l'uomo incontrò il cane*, Adelphi, Milano 1998).

Magnani A., Marchettini N., Ristori S., Rossi C., Rossi F., Rustici M., Spalla O. & Tiezzi E. (2004) – *Chemical Waves and Pattern Formation in the 1,2-Dipalmitoyl-sn-Glycero-3-Phosphocholine/Water Lamellar System*. J. Amer. Chem. Soc., 126, 11406-11407.

Marchettini N., Ristori S., Rossi F. & Rustici M. (2006) – *An Experimental Model for Mimicking Biological Systems. The Belousov-Zhabotinsky Reaction in Lipid Membranes*. Intern. J. Ecodynamics, 1 (1), 55-63.

Prigogine I. (1980) – *From Being to Becoming*. W.H. Freeman & Co., San Francisco (tr. it.: *Dall'essere al divenire. Tempo e complessità nelle scienze fisiche*. Einaudi, Torino 1986).

Schrödinger E. (1944) – *What is Life?* Cambridge University Press, Cambridge (tr. it.: *Che cos'è la vita?* Sansoni, Firenze 1978).

Sparr E. & Wennerström H. (2001) – *Responding Phospholipid Membranes – Interplay between Hydration and Permeability*. Biophys. J., 81, 1014-1028.

Thorpe W.H. (1961) – *Bird-Song. The Biology of Vocal Communications and Expression in Birds*. Monographs in Experimental Biology, 12, Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Tiezzi E. (1984) – *Tempi storici, tempi biologici*. Garzanti, Milano. Nuova edizione nella collana "Gli elefanti", Milano 1992. *The End of Time* (tr. ingl.: WIT Press, Southampton (UK) 2003.

Tiezzi E. (2005) – *Tempi storici, tempi biologici venticinque anni dopo*. Donzelli, Roma.

Tiezzi E. (1998) – *La bellezza e la scienza*. Cortina, Milano (tr. ingl.: *Beauty & Science*, WIT Press, Southampton 2005).

Ulanowicz R.E. (2006) – *Process Ecology. A Transactional Worldview*. Int. J. Ecodynamics, 1.

Varela F. & Maturana H. (1980) – *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*. Reidel P.C., Dordrecht (tr. it.: *Autopoiesi e cognizione. La realizzazione del vivente*. Marsilio, Venezia 2001).

Wolfram S. (1984a) – *Cellular Automata as Models of Complexity*. Nature, 311, 419-424.

Wolfram S. (1984b) – *Computer Software in Science and Mathematics*. Sci. Am., 251, 140'151.

Vezzi e magie delle orchidee spontanee

Alessio Pellegrini
Via di Sassoscritto, 58020 Montemassi (Grosseto).

"La bella Orchide è questa: al par dell'alba rubiconda e splendente incanta gli occhi.Tutta vezzi essa culla in fra le braccia il suo bambino, e tale a lei fomenta dolce amore il bel cor, ov'ha suo trono,che intenta ognor guarda l'amato pegno,avendo più di lui, che di sé cura."

Erasmo Darwin, *Gli amori delle piante*. Milano, 1805.

Inganni, provocazioni, magie e leggende: sono questi gli ingredienti del viaggio che stiamo per affrontare. Un viaggio attraverso storie che seguono i ritmi della natura e che ogni anno si ripetono, in silenzio, sotto ai nostri occhi. Il Libro della Natura è più complesso di qualsiasi opera scritta dall'uomo e nessuno sa leggerlo fino in fondo. Ecco quindi un fugace assaggio di quello che è scritto in una sezione del Libro: il capitolo delle Orchidee.

Bellissime, schive e sempre ai nostri piedi. Creature affascinanti, ma che si concedono solo in un breve periodo dell'anno: la primavera, tempo di risvegli e di passioni. E non sono tutte uguali: alcune sono più esuberanti e facili da conquistare, altre più delicate e nascoste. Ma tutte, una volta raggiunte, sono pronte a regalarci emozioni indimenticabili. Sono le… orchidee (Fig. 1). Ovviamente.

Un nome che da sempre suscita suggestioni esotiche, che rimandano ai fiori imponenti che vegetano spontaneamente nelle regioni tropicali. Fiori che sono stati l'obiettivo di ambiziosi esploratori in cerca di gloria, ma che a volte hanno trovato la morte. Fiori che sono stati anche nelle fantasie di grandi sovrani, disposti a sperperare patrimoni pur di poter esibire nei loro giardini le orchidee più rare e preziose del mondo. Fiori di una bellezza esuberante e sensuale, che sembra rimandi ad un peccato nascosto. Basti pensare al mito greco di Orchis, personaggio leggendario punito per la sua sfrenata lussuria, ma dai cui resti mortali nacque una pianta esile e modesta, la quale però riproduceva nella parte sotterranea le appendici anatomiche maschili a suo tempo incriminate (Fig.2). Questa pianticella era proprio un'orchidea, assai simile a quelle che ancora oggi popolano i prati della Toscana e quindi anche della Maremma.

Fig. 1 - *Dactylorhiza maculata*, Manciano.

Magia o realtà?

La Maremma è un luogo straordinario per chi ama le orchidee: ci sono ben sessanta specie di questi fiori! Per la loro bellezza non sono paragonabili a quelle tropicali: queste ultime sono certamente più appariscenti, ma le nostre sono delicate miniature da ammirare attentamente, con sfumature di colori che l'osservatore distratto non può pienamente apprezzare, ma che riservano grosse sorprese.

Se infatti con il mito di Orchis il mondo delle orchidee affonda le proprie radici nella leggenda, alcune di esse sembrano essere l'opera di un mago burlone o di un abile pittore. Guardiamo ad esempio la pianticella della figura 3: sembra che un insetto vi si sia posato…ma no, è il petalo rivolto in basso (detto labello) ad assomigliare ad un insetto! Una specie di magia, insomma, ma che riesce solo ad alcune orchidee particolarmente estrose, appartenenti al genere *Ophrys*. Tutte queste sono abili ad imitare il dorso di una particolare specie di insetto (che può essere un'ape, un bombo o altri ancora), il che le rende particolarmente curiose ed affascinanti. Ma perché questi fiori dovrebbero dedicarsi all'arte dell'imitazione?

Storie di inganni e provocazioni

In realtà, quello che fanno le specie di *Ophrys* non è un'imitazione… è un vero e proprio inganno! Esse, infatti, riproducono la forma del dorso delle femmine degli insetti, compresa una certa pelosità che conferisce un ulteriore effetto realistico. Il tocco finale è l'emissione di sostanze odorose che attirano i maschi di determinati gruppi di insetti. Il gioco è fatto: il maschio cade nella trappola e tenta di copulare con il fiore. Con questi movimenti entra in contatto con il polline, che gli rimane attaccato. Insoddisfatto dall'incontro con la "falsa femmina", ne cerca un'altra e finisce per essere beffato di nuovo, ma in questo modo il polline dell'altra pianta feconda il nuovo fiore.

Questo curioso comportamento fu osservato per la prima volta dal più famoso naturalista di tutti i tempi, Charles Darwin (Erasmo Darwin era suo nonno). Egli rimase talmente colpito da questi fiori che ebbe modo di scrivere: " nessun soggetto mi aveva mai tanto interessato nella mia vita quanto le orchidee". A questo proposito, si narra che egli abbia ripetutamente osservato il complesso comportamento riproduttivo delle specie di *Ophrys* durante alcune passeggiate nel Devon: osservazioni successivamente da lui riportate nell'opera *On the Fertilisation of Orchids by Insects* (1862). Come molte altre opere di Darwin, anche questa suscitò reazioni forti e contrastanti: da un lato erano numerosi coloro che non accettavano l'esistenza di pratiche riproduttive così fantasiose; dall'altro a molti è sempre piaciuto vedere nell'insetto un satiro che negli angoli nascosti della campagna si dedica ronzando alle perenni gioie dei giochi d'amore.

Fig. 2 - Radici di *Orchis morio*.

Fig. 3 - *Ophrys holoserica*, Monte Argentario.

Fig. 4 - *Orchis pauciflora*, Cornate di Gerfalco.

Non tutte le orchidee sono perfide ingannatrici come quelle del genere *Ophrys*; tuttavia, con la loro avvenenza, sono spesso abili nell'arte della provocazione. È il caso di molteplici specie di *Orchis* (Figg. 4-6), di solito assai più vistose delle cugine di *Ophrys* e in grado di ammaliarci con i loro limpidi colori. È piuttosto facile incontrarle ai primi tepori primaverili, quando i prati sono uniformemente verdi, magari in prossimità di un torrente.

"Paparazzi" naturalisti

Ingannatrici o provocatrici, ma a volte anche timide e poco vistose, le orchidee hanno dietro di sé stuoli di *fans*. Questi, ben consapevoli della rarità dell'oggetto del loro interesse (le orchidee sono tutte severamente protette), cercano di mantenere vivo il ricordo degli esemplari più belli attraverso una pratica sostenibile: la caccia fotografica. È questa un'attività che porta molti appassionati, che a volte si riuniscono in associazioni o addirittura gruppi di ricerca, a scandagliare ogni centimetro quadrato dei prati del comune o della provincia in cui vivono. Altri si spingono ancora più in là: visitano prima i santuari delle orchidee delle regioni dell'Europa Mediterranea, per poi spingersi verso Nord, dove le fioriture sono più tardive, in modo da poter gioire di una stagione delle orchidee eccezionalmente prolungata.

Tra le aree più visitate dagli orchidofili (così si chiamano gli appassionati di orchidee) c'è sicuramente il Monte Argentario, una vera miniera di orchidee (più di 40 specie), racchiuse in uno spazio relativamente poco ampio. Ma è proprio in questo straordinario angolo della Maremma (ma anche altrove) che le nostre creature fiorite cominciano a soffrire.

Nemici in agguato

In Italia, tutte le specie della famiglia Orchidaceae sono protette; tuttavia il loro futuro (in particolare delle forme meno diffuse) non è affatto certo. La loro principale minaccia deriva dal cinghiale

Fig. 5 - Gruppo di *Orchis purpurea*, Cornate di Gerfalco.

Fig. 6 *– Orchis simia*, Cornate di Gerfalco.

(*Sus scrofa*), che sta proliferando un po' ovunque in Maremma, ma anche nell'Elba e in altre isole dell'Arcipelago Toscano. Di questo suino sono state introdotte, per fini venatori, varietà non autoctone - talvolta ibridate con la forma domestica - di grande taglia e molto prolifiche. Il rapidissimo incremento demografico del cinghiale sta provocando gravi danni alla fauna selvatica minore e al patrimonio botanico, in particolare a quelle specie vegetali che rientrano nella sua dieta, tra cui, appunto, le orchidee (va ghiotto per le loro radici). Ma anche il semplice passaggio di questi grossi ungulati può provocare gravi danni (Fig. 7). Affinché i danni non siano irreversibili, occorre riportare sotto controllo le popolazioni di cinghiale.

Oltre ai suini selvatici, le orchidee temono i processi di degrado del suolo. In alcune aree del Monte Argentario, ad esempio, questi processi si sono verificati a seguito di numerosi incendi. Da notare, però, che essendo queste un po' capricciose, temono anche il fenomeno inverso, ossia suoli eccessivamente arricchiti a causa di esagerate concimazioni chimiche. Da considerare, infine, l'azione nociva dei diserbanti, per effetto della quale saranno necessari decenni prima che in molte zone si ricostituiscano condizioni favorevoli alla crescita e alla diffusione di questi fiori.

I vezzi e le magie delle orchidee spontanee possono essere visti come riflessi di ciò che di più bello è racchiuso nel nostro animo. Questa poesia del patrimonio naturale e del paesaggio puo' essere "disturbata, ma non troppo" e deve essere salvaguardata soprattutto per noi stessi.

Fig. 7 - Un cinghiale si è nutrito delle radici di *Orchis italica*, Monte Argentario.

Testi di approfondimento

Berliocchi L. (1996) - *Il fiore degli dei*. Stampa alternativa, Roma.

Del Prete C., Tichy H. & Tosi G. (1993) - L*e orchidee spontanee della Maremma Grossetana*. Pro. Gra. Ms. Italia, Porto Ercole.

Gerola F.M. (1992) - *Biologia vegetale sistematica e filogenetica*. UTET, Torino.

Roguenant A., Roguenant C. & Raynal-Roques A. (2003) - *La movimentata sessualità delle orchidee*. Le Scienze, 422, 100-106.

Tosi G. (2001) - *Geobotanica & Etnobotanica del Monte Argentario*. Laurum Editrice, Pitigliano.

Risorse in rete

http://astro.df.unipi.it/ORCHIDS

Evoluzione del pensiero geologico in Europa e in Toscana dalle origini a tutto il XIX secolo

Renzo Mazzanti
(Già Ricercatore presso il Centro di Geologia dinamica e strutturale dell'Appennino del CNR)
Via Bellini, 64 - 57013 Rosignano Solvay (Livorno)

L'interpretazione dei fossili come resti di organismi e la loro presenza su colline e montagne sembra inizialmente convalidare l'idea biblica del diluvio

A partire dal XVII secolo furono sempre più abbandonate perché inconsistenti le teorie sui fossili risalenti a Platone e ad Aristotele (o con più certezza al suo traduttore dall'arabo al greco Avicenna, vissuto a cavallo tra il X e l'XI secolo). Per il primo, infatti, i fossili erano prodotti da un "seme" presente nel terreno e capace di farli nascere quali veri e propri organismi viventi sotto l'azione di una forza o "virtù plastica", mentre per il secondo essi andavano attribuiti all'azione di succhi o di arie circolanti dentro o sopra il terreno.

Secondo quanto già osservato dal Boccaccio e da Leonardo da Vinci, nel XVII secolo il significato dei fossili quali resti di organismi deceduti veniva ormai accettato da un numero sempre maggiore di studiosi, il cui sforzo interpretativo era rivolto a spiegare in qual modo questi resti di organismi, moltissimi dei quali identici alle conchiglie o alle ossa di quelli che vivono sicuramente in mare, potessero essere finiti in così gran copia su monti e colline.

L'antica descrizione biblica del diluvio forniva un'interpretazione a portata di mano, consona alla tradizione di una Chiesa che aveva, col Concilio di Trento, prese le distanze dallo spirito innovatore dei nuovi studiosi ed imboccata la strada che vide nell'imposizione dell'abiura a Galileo l'episodio più eclatante fra i tanti. D'altra parte montagne e colline erano da sempre state viste come il massimo simbolo dell'immobilità e non fu facile giungere alla considerazione che tale era solo un'apparenza collegata alla lentezza dei loro movimenti.

Nicola Stenone e il suo *Prodromus*: prima sintesi interpretativa dell'origine dei sedimenti (stratigrafia) e della loro disposizione (tettonica)

Niels Stensen, scienziato danese che soggiornò a lungo in Toscana presso la corte di Ferdinando II, italianizzò il suo nome in Stenone e viaggiò specialmente a Sud dell'Arno tra Firenze, Volterra e Livorno. Egli trasse dall'osservazione della complessa geologia di quei luoghi una lucida sintesi geologico-morfologico-paleontologica che pubblicò nel 1669 nel suo *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, opera che sottintendeva un lavoro più ampio che tuttavia non fu mai eseguito per la conversione dell'Autore al cattolicesimo, con conseguente abbandono della ricerca e dedizione alla vita apostolica, essendo stato fatto vescovo.

Nella regione in cui viaggiò Stenone (parte della Toscana Marittima) esistono diversi monti isolati, costituiti da rocce dure e coerenti come scisti cristallini (Montagnola Senese), arenarie e calcari (M. Albano, Larderello, Massa Marittima, M. Livornesi, M. Campigliesi, M. Piombinesi, ecc.), circondati da colline formate da rocce molli o poco coerenti come argille e sabbie marine riccmente fossilifere. Stenone in una figura in sei episodi (Fig. 1) ne precisò le tappe successive di sviluppo stratigrafico, tettonico e morfologico a partire dalla situazione attuale (Fig. 1: 20).

In una fase primitiva (Fig. 1: 25) il mare, che viene indicato come quello "primordiale" della Genesi, si estese su tutta la regione deponendo

strata lapidea orizzontali. In una seconda fase (Fig. 1: 24) il mare si ritirò di modo che tutta la regione divenne una grande pianura. In una terza fase (Fig. 1: 23) si formarono ampie valli in corrispondenza di aree sprofondate per l'azione sotterranea del fuoco e dell'acqua: le zone scampate a questi sprofondamenti (Fig. 1: F, G) costituiscono i monti di cui sopra. In una quarta fase (Fig. 1: 22) il mare, indicato come quello corrispondente al diluvio universale, penetrò nelle valli e vi depose gli strati (A, B, C) argillosi e sabbiosi orizzontali. In una quinta fase (Fig. 1: 21) il mare si ritirò e nuovi sprofondamenti per le forze interne del fuoco e dell'acqua determinarono la vacuità al di sotto di alcune aree (A) che crollarono (Fig. 1: 20) dando origine alle pianure (D) che furono separate dalle colline (B, C).

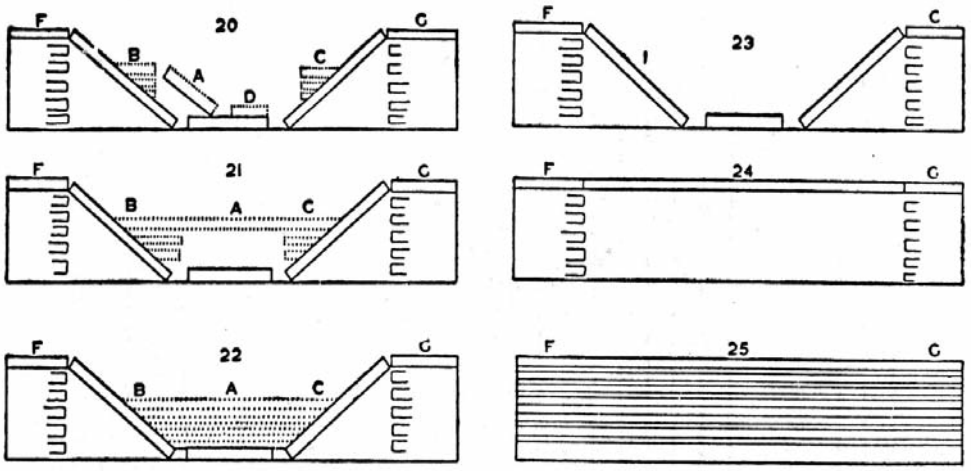


Fig. 1 – La storia geologica della Toscana nella versione originale di Stenone.

Questa ricostruzione può essere considerata la prima (non solo per la Toscana) nella quale la deposizione dei sedimenti viene messa chiaramente in relazione con l'ingressione del mare sulle terre (detta successivamente "trasgressione") e vien data una spiegazione meccanica (detta in seguito "tettonica") della inclinazione degli strati per perdita di una originale orizzontalità di deposizione; ha inoltre il grandissimo merito di essere applicata a un caso concreto di dimensioni regionali e di essere stata tratta dalla osservazione diretta in campagna. A questa ricostruzione, ovviamente schematica e "semplicistica", ancor oggi si può solo eccepire che i monti individuati nella fase 4 in maggioranza non hanno strati orizzontali.

L'ipotesi diluvialistica di Stenone entra in crisi per i "difficili" fossili inglesi di Martin Lister

Stenone era giunto all'intuizione di una struttura a strati sovrapposti della crosta terrestre per sedimentazione nell'acqua del mare di particelle inorganiche e di resti degli organismi che vi vivevano, attraverso l'osservazione dei terreni delle colline toscane che oggi sappiamo essere geologicamente recenti (neogeniche e quaternarie). Ciò comporta che i fossili osservati da Stenone erano tutti identici (o molto simili) alle parti conchigliari od ossee degli organismi ancora viventi e non era in contrasto netto con l'ipotesi "diluvialista", tanto più che gli strati dei monti toscani che si credevano privi di fossili (in realtà ne sono anch'essi ricchi ma, in prevalenza, di dimensioni microscopiche), potevano venire riferiti ad un'origine nel mare "primordiale" e precedente ad ogni forma di vita sulla Terra.

Le ricche collezioni di Lister e di altri naturalisti inglesi, vissuti fra il XVII e l'inizio del XVIII secolo, avevano fossili (che oggi sappiamo appartenere al Giurassico e al Carbonifero) molto più antichi di quelli osservati da Stenone e, più che altro, con forme assolutamente non paragonabili a nessuna di quelle viventi conosciute. Ne derivò il dubbio che tutti gli strati con forme così varie di fossili si fossero potuti sedimentare nei soli 40 giorni del diluvio, tanto più che lo stesso Lister aveva molto acutamente osservato che determinati fossili sono caratteristici di determinati strati; per cui diveniva inevitabile ammettere l'esistenza di forme estinte o viventi in recessi ancora inesplorati della Terra. Per non ammettere queste ipotesi, e in particolare la prima che contrastava con una natura perfetta e conservatrice delle forme originate all'atto della creazione, Lister finì per sostenere l'origine inorganica dei fossili, compiendo un netto passo indietro rispetto alle sue precedenti intuizioni.

Fra il XVII e il XVIII secolo i naturalisti cessano di ricercare la verità nei testi classici secondo la tradizione umanistica e, sull'esempio del medico e botanico bolognese Ulisse Aldrovandi del secolo precedente, si gettano alla risoluzione dei problemi "dal vivo", cioè viaggiando

Il veneto Antonio Vallisnieri in uno dei suoi viaggi visitava le Colline Pisane e Livornesi e così riferiva nelle *Opere fisico-mediche* del 1733: "Era una maraviglia, il non poter mettere piede innanzi piede su que' colli, che non si calpestasse qualche… produzione di mare, essendo tutti seminati anche gli arati campi delle medesime; ed era un diletto o un curioso spettacolo da filosofo il veder germogliare e pini e olive e viti e fichi ed altre piante fruttifere dove probabilmente una volta nuotarono i pesci, e di tanti crostacei fu nido graditissimo". E sulle caverne, delle quali aveva esperienza diretta per averne esplorate alcune anche nelle Apuane, così scriveva: "In tante caverne… ho pur veduto per lo più generarsi… certe croste di tartaro o certe piramidi alla rovescia, dette da alcuni *stalagmites* o varie altre bizzarre figure per mezzo delle cadenti gocce, segno evidente, che non erano formate sempre da puri vapori, ma da acque, che venivano dal di sopra, le quali in passando per la terra, o per certe pietre dette calcarie, o per altre dell'indole del gesso, o simili, trascinavano seco sali e particelle che combaciandosi insieme formavano que' tartari o quelle stalagmiti, dette volgarmente *acque impietrite*". Infine, nel medesimo lavoro descrive il ciclo delle acque, tanto importante nei processi erosivi: "Il sole e l'aria fanno che si sollevino sciolte in vapori le acque del mare, i quali si raunano e si stringono in nuvole, e dalle nuvole grondano le piogge, piombano le grandini e fioccano le nevi, che formano i fonti e i fiumi, che ritornano al mare; onde ecco dal mare al cielo, dal cielo a' monti, da' monti al mare un'incessante vertiginosa circolazione dell'acque".

Pier Antonio Micheli, botanico fiorentino capace di argute osservazioni geologiche, riconosceva ad Ischia "pietre bruciate molto simili a quelle vomitate dal Vesuvio" e a Procida pietre "tormentate dal massimo grado di fuoco, e ridotte in stato di vetro nero"; per cui considerava le due isole come "due vulcani estinti". Nel 1722, mentre erborizzava tra Radicofani e Montefiascone, si convinceva che questi ed "altri luoghi circonvicini… altro non sono… che tanti vulcani o mongibelli estinti". Ed altrettanto intuiva per il M. Amiata, sulla base di tracce di colate sovrapposte di rocce ignee: "di tanti strati di diversi colori e grossezze, che dall'alto al basso discendessero, in modo appunto, come se la materia che gli compone fosse stata liquefatta dal fuoco, e che quella di uno strato avesse di mano in mano fluito sopra dell'altro".

L'evoluzione geomorfologica della Toscana Marittima nei rapporti fra "monti primitivi" e "colline" secondo le osservazioni di Gio' Targioni Tozzetti, il più famoso dei "naturalisti viaggiatori" toscani

Targioni Tozzetti, nelle sue *Relazioni di alcuni viaggi…* uscite in prima edizione nel 1751 ed in seconda ampliata dal 1768 al 1779, distinse nei rilievi della Toscana i "monti", di quote maggiori e costituiti da strati variamente inclinati composti per la maggior parte da Macigno (prevalentemente arenaceo) e Alberese (in prevalenza marnoso e calcareo-marnoso), dalle "colline", di quote minori, formate da strati orizzontali di ghiaie, sabbie e argille. Le colline sarebbero state dunque "monti secondari" prodotti dal disfacimento dei "monti primitivi" (quelli, appunto, di cui sopra), per i quali Targioni Tozzetti aveva l'accortezza di precisare: "Col termine primitivo non intendo esprimere che i moderni [lèggi: attuali] monti sieno tali quali furono creati in principio [lèggi: primigeni] … ma in realtà non sono tali, e sono ancora essi secondari, forse di terza o quarta mano, cosicché manifestamente composti di rovine e rottami di altri monti più antichi".

Sui rapporti tra Macigno e Alberese, entrambi riconosciuti, per quanto sopra, come rocce di natura clastica (o formate dall'accumulo sedimentario di particelle provenienti dall'erosione di altre rocce preesistenti) così si esprimeva: "le falde più basse e le radici delle montagne di macigno sono

fasciate e sotterrate da pendici di alberesi. Ciò non ostante sembra credibile che le sotterranee pendici di macigno sieno vastissime, e si estendano tortuose a grandi distanze, protuberando di tanto in tanto, quasi come fanno le tortuose radici rampanti dei grandi alberi, che si fanno vedere a luogo a luogo scoperte dal terreno". Così Macigno ed Alberese è ovvio che dovrebbero costituire in gran parte il substrato delle "colline"; i Gabbri, come masse non vulcaniche perché non vi è mai stato rinvenuto vetro, si trovano associati agli Alberesi nei "monti".

Targioni Tozzetti precisava che le "colline", i cui sedimenti si deposero in aree sprofondate dei "monti primitivi", emersero in seguito ad un abbassamento del mare avvenuto in epoca remotissima; inoltre riteneva che "le sommità… più alte delle colline restano tutte quante ad un medesimo livello, come persuade l'oculare ispezione, meglio di qualunque discorso; poiché stando sopra d'una delle sommità maggiori di colline si vedono tutte quante le altre tornare ad una medesima linea, e presentare all'occhio l'immagine di una vastissima pianura". Quest'ultima corrispondeva, nelle intenzioni di Targioni Tozzetti, alla superficie di ritiro ("regressione") di un mare che trasgredì su tutta la Toscana Marittima fino a lambire il piede del M. Pisano, del M. Albano, dei M.ti del Chianti, del M. Cetona, ecc. e che ridusse ad isole tutti i rilievi montuosi presenti ad occidente di detto allineamento. Si tratta di quella che sarà in seguito riconosciuta come la trasgressione del Pliocene inferiore (Fig. 2).

Questa ricostruzione è un'applicazione più raffinata del modello di Stenone, rispetto al quale risulta però completamente liberata da indimostrabili riferimenti a miti biblici. Va comunque fatto notare che la presenza di strati marini a quote molto alte, nei "monti" oltre che nelle "colline", non essendo ancora stata presentata l'ipotesi di un sollevamento delle terre, veniva supposta, anche se non esplicitamente, come dovuta a grandi rigonfiamenti delle acque marine.

Fra la seconda metà del XVIII ed i primi anni del XIX secolo gli ultimi "naturalisti viaggiatori", ormai liberi da vincoli di credenze sorpassate, arricchiscono le conoscenze geologiche della Toscana Marittima

Così Giuseppe Baldassarri, che studiò principalmente il territorio di Siena, scriveva nel suo *Saggio di osservazioni*… del 1763: "La posizione naturale con cui si trovano nei monti i polipari, simile appunto a quella che hanno in mare; i forami scavati dai datteri negli scogli di alcuni monti primitivi [quelli di natura calcarea], sulle pendici dei quali sono depositati i monti di posteriore formazione [le "colline" di Targioni Tozzetti], e molte altre non poche consimili osservazioni rappresentavano la difficoltà di concepire questo trasporto cagionato dalla violenza e confusione dell'universale diluvio, anzi che sembrava più tosto ciò dimostrare essere una volta soggiornato il mare per lungo tempo in questi stessi luoghi del continente". E, ancora, fra le rocce comuni nel

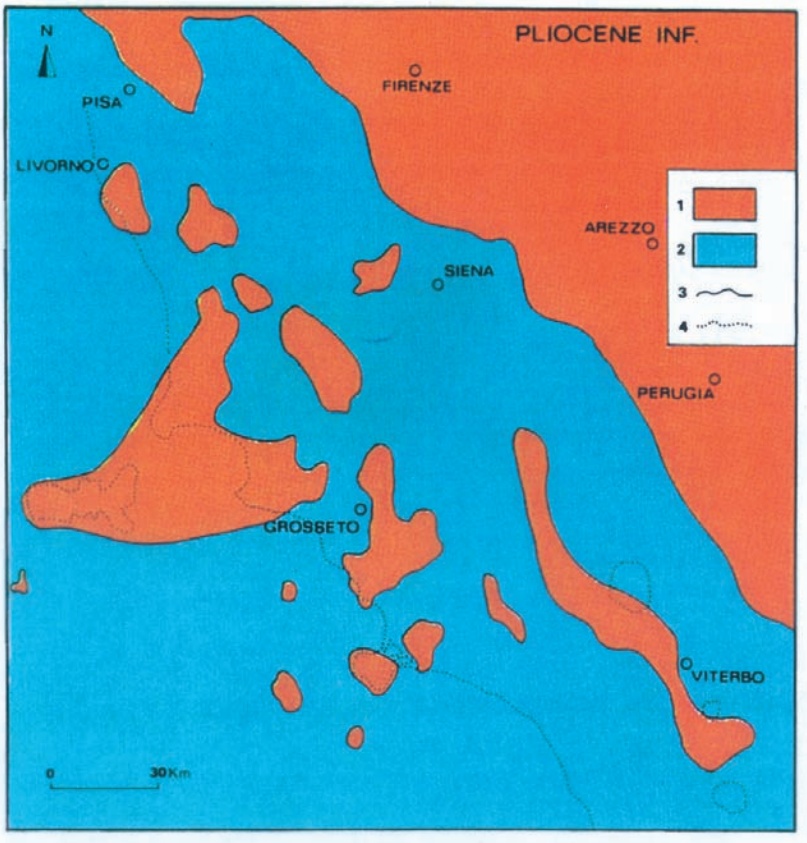


Fig. 2 – Schema paleogeografico della Toscana a Sud dell'Arno, dell'Alto Lazio e dell'Umbria occidentale nel Pliocene Inferiore.

Senese riguardo alla formazione dei travertini osservava (nel volume *Delle acque minerali di Chianciano, Siena,* 1756) che il: "letto petrificato si stende da Asciano con direzione alla parte di greco fino in vicinanza del castello delle Serre per la lunghezza di tre miglia circa … Di presente in tutto questo lungo tratto d'impietramento non si scorgono acque minerali, ma sembra peraltro cosa naturalissima il credere, che una volta sgorgassero … e che poi accecate le polle nel luogo delle prime sorgenti, siansi queste aperta l'uscita successivamente sempre più a basso … terminando finalmente nel luogo, nel quale è fabbricata la terra di Asciano".

Forti dubbi rimanevano invece a Baldassarri (nello stesso saggio) circa la natura vulcanica delle rocce di Roccastrada che somigliavano moltissimo a quelle dell'Amiata, ormai noto come un vulcano spento, ma nelle quali non rinvenne "o vetrificazioni o pomici o ceneri vulcaniche", allora ritenute documenti indispensabili per il riconoscimento di una roccia come ignea (o "magmatica", secondo l'uso moderno). In analoghe incertezze rimase Giorgio Santi, discepolo di Baldassarri e "viaggiatore" nel Senese, che, addirittura, applicando le stesse regole al granito di Gavorrano, finì per considerarlo una roccia di seconda formazione, derivata dalla distruzione di antichi graniti.

Santi, nel suo *Viaggio secondo per le due province senesi…* del 1798, riconosceva invece con molta proprietà l'origine dei tufi: "Ovunque si volga l'occhio in queste parti scorgonsi immense produzioni del fuoco. Tufe compatte, tufe tenere e cellulose, scorie, pomici, ceneri, o per meglio dire arene volcaniche, ecco ciò che largamente si offre all'occhio dal fiume Fiora a Pitigliano, Soana, Sorano, Castellottieri, Montorio e a tutti questi paesi toscani di confino. Legasi ad essi immediatamente, e senza interruzione le regioni volcaniche dello Stato Romano"; ed inoltre: "non il fuoco immediatamente, non le convulse eiezioni di volcani, ma i trasporti e le deposizioni successive e regolari delle acque marine formaron già quei strati immensi, quelle rupi, quei banchi paralleli e sì bene ordinati di sostanze volcaniche, che da Soana e da Pitigliano per le basse province dell'Italia Cisappenninica tant'oltre si estendono". Riconosceva altresì, al di sotto dei terreni argillosi e sabbiosi di origine marina (della trasgressione del Pliocene) i rilievi calcarei più antichi del M. Cetona e dei Bagni di San Casciano, nei quali rinvenne numerose Ammoniti (presenti, va ricordato, tra i fossili "difficili" di Lister). Ancora molto importante, nel *Viaggio terzo…* del 1806, è il riconoscimento del Verrucano, breccia silicea, che compare spesso "Dal Monte Argentario fino ai Monti Pisani, da un'estremità all'altra della Toscana, senza quasi interruzione, o almeno con traccia di una corrispondenza contigua per tutta la Maremma".

Il problema della datazione delle rocce e della Terra: uno degli argomenti meno risolvibili per gli studiosi dei secoli XVII e XVIII

Alla fine del XVII e, ancor più, durante il XVIII secolo molti studiosi si resero conto della difficoltà di riferire l'origine delle rocce ai due unici episodi rintracciabili nella tradizione biblica: la genesi (alla quale veniva riferita la formazione dei monti primitivi) e il diluvio (con la formazione dei monti secondari). Queste difficoltà non sfiorarono peraltro la mente di James Ussher, vescovo di Armagh in Irlanda, che nei suoi *Annales Veteris Testamenti* del 1650, appunto sulla base dell'esegesi biblica, del calendario ebraico e di altri riferimenti "storici", datava la creazione del mondo alle ore 9 della domenica 23 ottobre 4.004 a.C., la creazione dei viventi ai sei giorni successivi, il diluvio a 1.656 anni dopo la creazione e la fermata dell'Arca sul Monte Ararat al 6 maggio 2.349 a.C.

Non così Targioni Tozzetti, per il quale: "la superficie a noi cognita del globo terracqueo ha sofferto più e diverse alterazioni magne, essenziali e paradosse, ed è stata, per così dire, affracassata e sminuzzolata più d'una volta, e poi rifatta e rimessa insieme alla meglio, quasi come certe fabbriche antiche state più volte rovinate e risarcite"; perciò chi "si darà la pena di osservare con occhio filosofico i monti della Toscana…, vi troverà da per tutto prove dimostrative degli accennati disfacimenti e risarcimenti irregolari e tumultuari, seguitivi in diversi tempi, ma non potrà giammai metter in chiaro le vere cagioni, né l'epoche precise". Da cui la conclusione negativa di chi non vedeva

soluzioni logiche al problema: "Questo è un nodo gordiano che neppure la remota posterità saprà giammai sciogliere!".

Ma già un contemporaneo di Targioni Tozzetti, Giovanni Arduino, in base alla costituzione litologica e alla disposizione morfologica delle rocce, distingueva sulle Alpi Orientali tre grandi ordini (Primario, Secondario e Terziario), ai quali aggiungeva un quarto (Quaternario) per la pianura alluvionale. E nella sua *Lettera ad Antonio Vallisneri*…, pubblicata nel 1760, attribuiva al suo ordine Terziario le "… colline della Toscana, chiamate monti secondari dal chiarissimo sig. Targioni Tozzetti, che le ha giudiciosamente osservate e descritte".

I tempi erano ormai maturi per la messa a punto della tecnica di studio stratigrafico, che giunge alla datazione e all'interpretazione paleoambientale dei pacchi di strati rocciosi mediante i fossili in essi contenuti. Questa tecnica fu applicata per la prima volta nel Bacino della Senna da Georges Dagobert de Cuvier e da Alexandre Brongniart, e resa pubblica nel 1811 con il loro volume *Essai sur la géographie des environs de Paris*. Cinque anni dopo, e in maniera del tutto indipendente, la stessa tecnica veniva teorizzata anche da William Smith nel volume *Strata identified by organized fossils* …. E risale ancora a quegli anni (1820) la pubblicazione di *Dello stato fisico del suolo di Roma*…, ove Giovanni Battista Brocchi, grande conoscitore di tutto l'Appennino e dei suoi fossili, intuiva la possibilità di usare un criterio paleontologico per la determinazione cronologica delle successioni sedimentarie delle diverse località: "Se impossibil riesce di determinare la età assoluta delle rocce, si può bensì arguirne la età relativa ponendo mente alla loro giacitura, alle scambievoli loro relazioni, alla qualità de' corpi organici che vi sono racchiusi. Rispetto a questi ultimi osservare possiamo che alcune rocce sono più antiche di certe altre se contengono testacei [conchiglie] le cui spezie [specie] o sono per la massima parte perdute, o hanno così insolita forma che non si saprebbe tampoco riferirle a veruno de' generi in cui stanno comprese quelle degli odierni mari. Più moderne relativamente a queste saranno le altre rocce che offriranno testacei di cui o esistono gli analoghi viventi, o se alcuni rimangono sconosciuti se ne può almeno determinare il genere … Finalmente di data vie più recente si riconoscono quelle rocce nelle quali tutti i testacei coincidono e coi generi e con le spezie indigene dei mari vicini".

L'evoluzione delle specie nel mondo organico, intuita da Jean-Baptiste Monet de Lamarck, trova in Charles Robert Darwin una semplice spiegazione e giustifica le differenze tra i fossili nelle varie successioni stratigrafiche. Nasce così la cronologia relativa

La tecnica di studio stratigrafica richiede, come abbiamo veduto, il riconoscimento nelle successioni sedimentarie dei resti fossili di un susseguirsi di differenti gruppi animali; d'altra parte risulta evidente che molte specie di questi gruppi oggi non vivono più, mentre la comparsa di altre non può essere considerata come avvenuta in un unico episodio, in quanto i loro fossili appaiono in strati diversi. Queste constatazioni portarono gli studiosi alla considerazione che: o le diverse specie erano state "create" in più episodi frazionati del passato; oppure c'era stata una trasformazione dalle forme più primitive a quelle più recenti. Per Lamarck, le specie si sarebbero originate da modificazioni di altre preesistenti attraverso pressioni dell'ambiente, secondo la legge per cui "le funzioni sviluppano gli organi". Per Cuvier, invece, le comparse di nuove specie in determinati territori sarebbero state successive ad eventi catastrofici che avevano spopolato quei territori, e dovute ad immigrazioni da aree più o meno limitrofe non colpite da tali eventi. Per Darwin, infine, le modificazioni da cui si sarebbero originate nuove specie sarebbero state il risultato della variabilità individuale e della selezione naturale, intesa in senso generale come competizione per la sopravvivenza e preservazione dei più adatti; in altre parole, la pressione ambientale selezionerebbe le forme maggiormente capaci di sopravvivere e di procreare nuovi tipi.

Qualunque fossero i meccanismi del processo evolutivo, la sola e semplice scoperta, avvenuta grazie alla paleontologia, che la vita sulla Terra aveva ripetutamente cambiato di configurazione nel corso del tempo, consentiva di collegare i

particolari contenuti fossiliferi a determinati pacchi di strati e, pertanto, di porre questi ultimi nella loro corretta successione verticale. Era nata, cioè, la cronologia relativa, per mezzo della quale diveniva possibile assegnare ogni roccia sedimentaria fossilifera al punto ad essa spettante nel quadro evolutivo generale del mondo organico (Fig. 3).

Fra polemiche spesso più infuocate dei magmi di cui trattano, i vulcanisti, i nettunisti e i plutonisti della seconda metà del XVIII e dei primi anni del XIX secolo finiscono per porre i fondamenti della moderna petrografia

Un primo "incidente" nelle relazioni fra naturalisti nacque quando Nicolas Desmarest, che dal 1763 al 1769 aveva lavorato in Alvernia, distretto francese particolarmente ricco di rocce ignee, riconobbe che il basalto di quella regione sormontava uno strato di scorie vulcaniche a loro volta poggianti sul granito; di conseguenza, affermò che il basalto derivava, come ogni altra roccia vulcanica, dalla fusione parziale dei componenti del granito. Questa conclusione non poteva essere accettata dai nettunisti, che avevano sempre sostenuto la natura sedimentaria del basalto in quanto privo di vetro, ceneri e scorie e lo ritenevano una roccia "primaria" (leggi "primordiale").

Il caposcuola dei nettunisti, Abraham Gottlieb Werner, docente alla Bergakademie di Friburgo, in due volumi del 1774 e del 1787 gettò le basi della classificazione rispettivamente dei minerali e delle rocce. Nel secondo di questi volumi espose la sua "geognosia", secondo la quale la Terra sarebbe stata sommersa da un oceano primordiale in cui si sarebbe formata la maggior parte delle rocce. Questa parte di rocce sarebbe poi emersa in seguito al lento ritiro del mare, mentre altre rocce più recenti si sarebbero formate sempre in mare, ma in conseguenza di trasgressioni parziali successive.

Nel 1795 fu stampato ad Edimburgo il volume *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations* di James Hutton, caposcuola dei plutonisti. Molte delle idee proposte in questo volume sono rivoluzionarie. Così la denudazione dei continenti da parte dell'erosione, considerata fino allora come un segno di decadenza della Terra, è presentata come un elemento di vitalità e di rinnovo perché fornisce quel materiale che, depositato negli oceani, finisce in profondità dove viene fuso e consolidato dal grande calore proveniente dal centro del globo. E lo stesso calore è ritenuto responsabile del sollevamento dei sedimenti marini e, talora, della loro dislocazione dall'originale orizzontalità. Così la comparsa di nuovi continenti può far seguito alla distruzione per erosione di quelli più antichi e assicurare la continuità della vita terrestre. Il grande calore dell'interno della Terra è anche considerato pro-

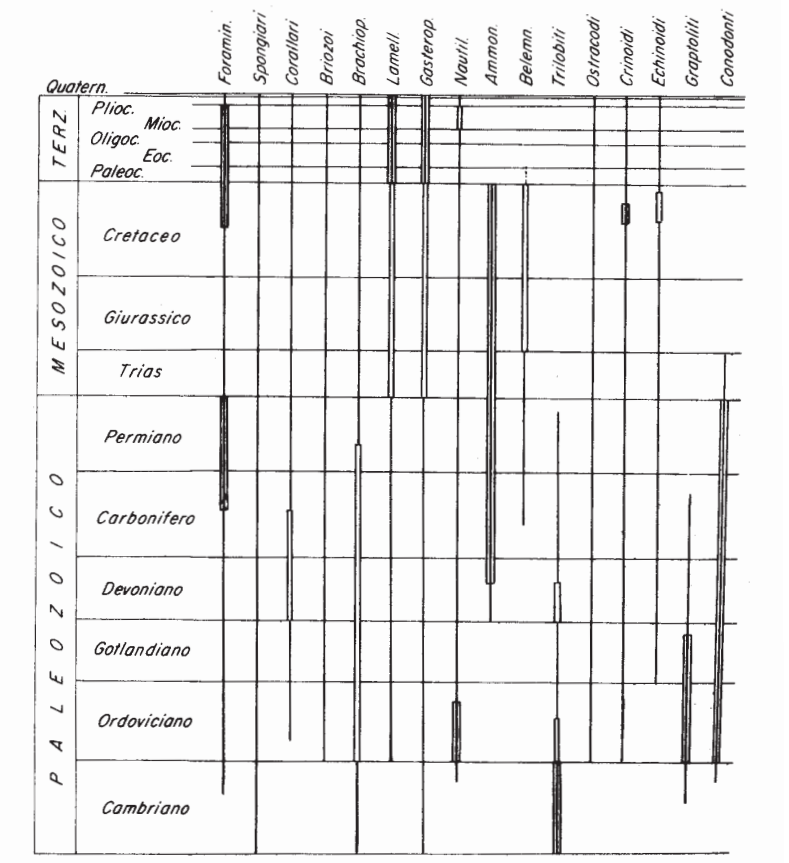


Fig. 3 – Fossili invertebrati marini. Linea tripla: importanti per zonazioni e correlazioni anche intercontinentali; linea doppia: usati per zonazioni e correlazioni regionali; linea semplice: di prevalente interesse locale.

durre il "magma", materiale fuso che tende a risalire e a fuoriuscire producendo lave (delle quali il basalto è la più diffusa) e vulcani (a struttura quasi sempre mista di lave, scorie, ceneri, ecc.), mentre se rimane stretto nel sottosuolo si raffredda lentamente e produce le rocce intrusive di struttura tutta cristallina e senza vetro (delle quali la più comune è il granito).

Con i *Principles of Geology* del 1830 Charles Lyell pone le basi della geologia moderna

La geologia fu considerata da Lyell una nuova scienza in grado di operare una sintesi tra petrografia, paleontologia e biologia, in grado di ricostruire la storia sulla Terra del mondo inorganico e delle sue relazioni con quello organico. L'opera di Lyell si basa sul principio attualistico, ovvero sull'intuizione che le forze che nel passato hanno agito nella formazione delle rocce siano simili a quelle che agiscono attualmente nella deposizione dei sedimenti, nell'eruzione dei vulcani, nella cristallizzazione (raffreddamento e solidificazione) dei magmi, nell'erosione delle rocce, ecc. Il presupposto di una lunga e costante azione nel tempo per la formazione delle rocce era stato fornito dai plutonisti, i quali lo contrapponevano alla visione propugnata dai nettunisti werneriani e da molti vulcanisti, secondo cui le modificazioni geologiche erano dovute ad una serie di distruzioni catastrofiche provocate da eruzioni.

Così l'attualismo di Lyell può essere veduto come il coronamento e la maturazione del plutonismo, ma più che altro come un notevole passo in avanti nella liberazione del pensiero scientifico da pregiudizi di natura fideistico-religiosa. È ovvio che anche la pubblicazione nel 1859 del volume *On the Origin of Species* di Darwin segnò un ulteriore punto fondamentale sulla strada di questo affrancamento per la comprensione dei meccanismi con i quali ha operato e opera la natura.

L'altro passo decisivo, nella determinazione della reale entità cronologica dei tempi geologici (cronologia assoluta), si renderà possibile solo molti anni più tardi con la scoperta del decadimento radioattivo, cioè della trasformazione (in tempi fissi e determinabili) di atomi di certi elementi in altri, con emissione di raggi alfa, beta e gamma.

Nel 1850, la *Struttura geologica delle Alpi, degli Appennini e dei Carpazi* di Roderick Impey Murchison, della Società Geologica di Londra, e le Considerazioni sulla geologia stratigrafica della Toscana di Paolo Savi e Giuseppe Meneghini, dell'Università di Pisa, sintetizzano i risultati di mezzo secolo di ricerche geopaleontologiche in Toscana

Nel seguente passo dell'inizio dell'opera dei due professori pisani è condensata la loro ampia esperienza di campagna avvalorata dal consenso di Murchison, che aveva iniziato a visitare l'Europa in compagnia di Lyell: "È noto a chiunque si è occupato un poco del nostro paese, e conosce gli studi fatti sul medesimo, non che quelli da uno di noi [Savi] pubblicati nel 1846, nella memoria sulla *Costituzione geologica de' Monti Pisani*, che ove osservasi completa la successione delle varie rocce secondarie e terziarie, delle quali si compone la superficie della Toscana, questa si forma della seguente serie di depositi, quando se ne incominci l'esame dal basso, cioè dai più antichi passando ai più recenti.

Anageniti quarzose e scisti del Verrucano.

Calcare grigio cupo senza selce.

Calcare salino.

Calcari Ammonitici.

Scisti varicolori e calcare impuro.

Calcare grigio scuro, spesso con selce piromaca.

Scisti galestrini e calcare compatto.

Calcare screziato o nummulitico e scisti galestrini superiori.

Arenaria macigno e calcare alberese.

Oltre le quali rocce, succedono quelle del periodo Miocenico, indi le Plioceniche, le Pliostoceniche [oggi: Pleistoceniche] e le Attuali [oggi: Oloceniche], nell'insieme definite come 'subappennine' perché non affiorano nell'Appennino vero e proprio ma ai piedi della catena."

Il confronto della serie di depositi descritta da Savi e Meneghini con la medesima tracciata in

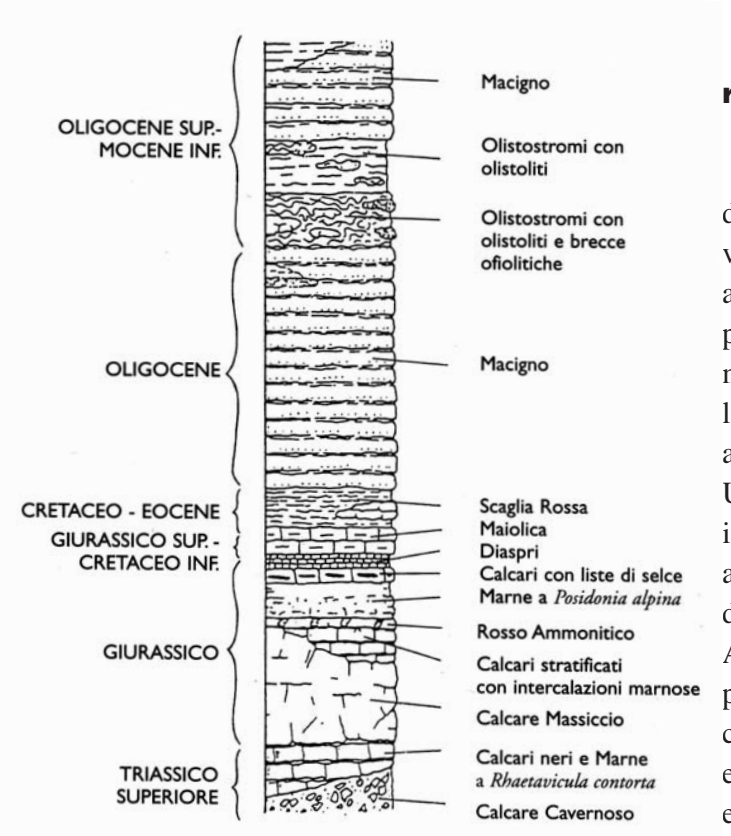


Fig. 4 – La Serie Toscana secondo i moderni rilevamenti. La successione è sorprendentemente simile a quella descritta da Savi e Meneghini.

base ai rilevamenti moderni e corredata dei nomi delle attuali suddivisioni stratigrafiche (dette "formazioni") (Fig. 4), mostra come questi Autori abbiano ricostruito la serie stratigrafica della Toscana con precisione sorprendente; tanto più quando si consideri l'estrema scarsità di fossili (lo studio dei microfossili, infatti, non era ancora di uso comune) e la grande complessità (ad essi in gran parte sfuggita) delle strutture tettoniche che la caratterizzano.

Assai differenti dalle attuali risultano, invece, le attribuzioni cronologiche delle varie formazioni, pur così ben riconosciute. Di tali attribuzioni, infatti, rimangono valide solo quelle del Calcare nummulitico all'Eocene, del Calcare salino (oggi Calcare massiccio) al Lias (Giurassico inferiore), del Calcare grigio cupo senza selce (corrispondente all'insieme dei Calcari e marne a *Rhaetavicula contorta* e del Calcare cavernoso) al Trias, degli strati inferiori (ma che oggi consideriamo sottostanti ed estranei) del Verrucano al Carbonifero.

Tutti gli strati delle formazioni toscane dal Carbonifero al Miocene sono stati giudicati da Savi e Meneghini in giacitura concordante

Visto che solo gli strati carboniferi ed alcuni di quelli miocenici, per la presenza di resti vegetali, erano da considerare deposti in ambiente continentale, mentre tutti gli altri, a partire dal Trias, erano indubbiamente di sedimentazione marina, questi Autori ritennero che la Toscana fosse stata sommersa dal mare, appunto, dal Trias fino alle soglie del Miocene. Un sollevamento ad "ellissoidi" avrebbe poi interessato l'insieme di questa serie più che altro in corrispondenza dei maggiori rilievi della Toscana Marittima: "Il nome di Alpi Apuane comprende un gruppo di montagne disposte e conformate in modo da presentare il più chiaro ed instruttivo esempio di sollevamento ellissoidale; ed essa non è in realtà che una delle ellissoidi, le quali, allineate dal nord-ovest al sud-est, fra la catena Appenninica ed il mar Tirreno, costituiscono l'altra catena, da noi chiamata Metallifera [che coincide, poi, con la Toscana Marittima]. Esso è il più settentrionale ed il maggiore di tali sollevamenti e, procedendo al mezzogiorno, è susseguito da quello dei Monti Pisani, quindi dal gruppo dei Monti Campigliesi, da quelli del Massetano, della Montagnola Senese e dei Monti di Cetona, ed, in una linea parallela più occidentale, da quelli delle isole dell'Elba, del Giglio e del Promontorio Argentale. I diversi sollevamenti, dalla cui serie è formata la indicata catena metallifera, non furono tutti egualmente energici ed attivi. Alcuni di questi produssero lo squarciamento solo dei vari depositi terziari e di alcuni dei secondari, talché rimasero scoperti e prominenti a cupole i terreni liassici, come fu per la ellissoide del Massetano, nella quale le grandi montagne liassiche della Cornata di Gerfalco e di Montieri s'innalzano a guisa di gigantesche cupole nel centro della ellissoide. In altre, invece, la forza sollevatrice ed espansiva centrale, che sempre agì in un maggior diametro diretto da nord-ovest a sud-est, diede origine all'innalzamento anche dei terreni paleozoici, i quali, perciò, sollevati in anticlinale, costituirono l'asse di una catena, come ne vediamo chiaro esempio nella ellissoide del Monte Pisano".

Molte di queste ellissoidi, secondo tali Auto-

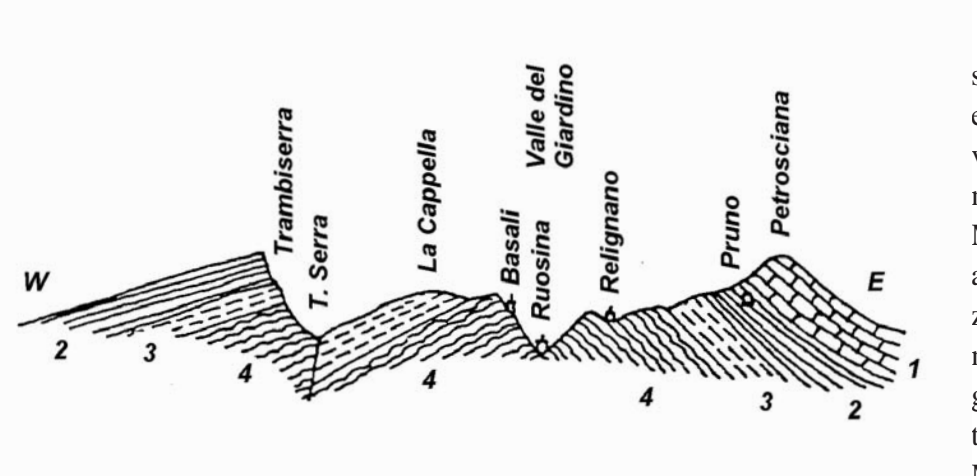


Fig. 5 – Esempio di sezione geologica con faglie presentata da Savi e Meneghini.

ri, furono tagliate da faglie (Fig. 5) ad esse contemporanee: "… anche nei monti oltre Serchio, la ondulazione, che produsse il sollevamento, produsse anche uno spostamento o faglia, il cui effetto fu di portare a più elevato livello i terreni del lembo più interno, come vedesi nel monte dei Sassi Grossi, nella foce di Baraglia ecc.". Infine, i sedimenti del Pliocene, come chiaramente indicato nella figura dedicata al "Taglio del Monte di Torri, dalla Valle dell'Era all'O, alla Valle dell'Evola all'E." (Fig. 6) sono stati riconosciuti discordanti sopra varie formazioni secondarie e terziarie, senza che sia stata presentata un'ipotesi per l'interpretazione di questa giacitura esplicitamente trasgressiva, né per la regressione che necessariamente ha preceduto l'attuale posizione emersa.

Ancora Savi e Meneghini elencano le rocce magmatiche della Toscana Marittima a loro note, e sono la maggior parte, e iniziano a parlare di problemi di metamorfismo

Dal "Prospetto generale della geologia toscana" contenuto nelle *Considerazioni* … di questi Autori si può trarre come ad essi fossero noti: i graniti dell'Elba e di Gavorrano; i porfidi ancora dell'Elba e del Campigliese; i filoni mineralizzati del Massetano, del Campigliese e delle Apuane; le vulcaniti di S. Vincenzo, di Roccastrada, del M. Amiata, di Radicofani, di Montecatini Val di Cecina e di Orciatico; le masse ofiolitiche (o rocce verdi come serpentine e gabbri) affioranti estesamente in molti luoghi della Toscana Marittima (M. Livornesi e di Castellina Marittima, monti in sinistra della Val di Cecina e monti compresi tra le valli dell'Era e dell'Elsa, monti incisi dal corso del Mestre, ecc.). Erano loro anche note le manifestazioni come i soffioni, le mofete, le putizze, le sorgenti termali e minerali, tanto diffuse nella Toscana Marittima e metallifera e dovute alla presenza nel sottosuolo di temperature superiori al normale, verosimilmente collegate a risalite di masse magmatiche non affioranti in superficie. In questo lungo elenco non sono citate, fra le maggiori, solo le masse granitiche di Montecristo e del Giglio e le vulcaniti di Capraia, e non è facile giudicare se ciò sia dovuto a semplice dimenticanza o a non conoscenza.

Senza entrare nel merito delle idee di questi Autori sul magmatismo, ancora molto legate alle dottrine nettuniste imperanti in Italia fino allo scadere del XIX secolo, è importante notare come, sulla base dell'osservazione delle rocce sedimentarie entro le quali questi magmi si trovano (criterio della giacitura), riuscirono a fare una scala delle età (ovviamente ancora solo relative) delle loro messe in posto nella quale sono indicati il Pliocene, il Pleistocene e, addirittura, l'Olocene. Ciò malgrado accettarono un'età paleozoica per il granito elbano secondo le teorie nettuniste che consideravano i graniti come rocce prodottesi al fondo dell'oceano primordiale per cristallizzazione di sostanze contenute nel "solvente universale" o acqua di mare primitiva; mentre attribuirono alle ofioliti varie età comprese fra il Cretaceo superiore e il Miocene.

Per quanto riguarda il metamorfismo, è certo che i due Autori si resero conto della sua notevole diffusione in Toscana Marittima: tanto che essi lamentarono le difficoltà di applicare i criteri essenziali della stratigrafia nello studio di molti sedimenti "… imperocché, non avendo sovente fra noi i caratteri litologici per causa del metamorfismo quasi verun valore; non essendo in più luoghi apprezzabili gli stratigrafici per i dislocamenti sostanziali che vi esercitano le

azioni dinamiche delle cause plutoniche … non possiamo prevalerci neppure d'uno di tali criteri". Comunque molto importante è il riconoscimento che le rocce metamorfiche toscane sono "semplici modificazioni delle rocce secondarie" dovute all'azione di "rocce tifoniane" (peraltro mai considerate affioranti dai due Autori) al centro del sollevamento degli ellissoidi, nell'ambito di una tettonica guidata solo da spinte dal basso e da sprofondamenti verticali.

È del 1880 l'idea di Grosselet secondo la quale nel Nord della Francia formazioni del Devoniano sono sovrascorse su quelle del Carbonifero

Ma l'esistenza di "carreggiamenti" (o ampi sovrascorrimenti orizzontali o suborizzontali) fu energicamente osteggiata dai geologi toscani per tutto il XIX e fino agli anni '30 del XX secolo Questo rifiuto di ammettere l'esistenza di sovrascorrimenti ritardò la comprensione del raddoppio della serie toscana nelle Alpi Apuane, nel M. Pisano e nella Montagnola Senese dove, d'altra parte, il metamorfismo della serie inferiore ha reso problematico il reperimento e lo studio dei fossili.

In tante incertezze e contraddizioni, le ricerche procedettero fra polemiche clamorose che tendevano a conformare il reale contenuto paleontologico delle diverse formazioni geologiche alla loro posizione geometrica. Senza entrare nei moltissimi particolari di queste questioni, ci limitiamo ad osservare, poiché la serie sovrascorsa ha nella posizione medio-inferiore strati sicuramente del Lias, che nella serie metamorfica sottostante non furono accettate attribuzioni più recenti del Trias. E quando furono rinvenute faune liassiche nei Calcari ceroidi [o massicci], faune medio-liassiche nelle Marne a *Posidonia* ed Aptici del Giurassico superiore nei Diaspri della serie toscana inferiore metamorfica, furono messe in dubbio le determinazioni di quei fossili e si giunse addirittura al limite della truffa modificandone con l'acido i caratteri (con la scusa di metterne meglio in evidenza i particolari) al fine di poterne affermare l'età triassica. In un altro caso, essendo stati rinvenuti Nummuliti ed altri fossili universalmente ritenuti eocenici in alcune lenti calcaree della Scaglia metamorfica della serie toscana inferiore della Garfagnana e della Lunigiana, nel 1887 Mario Canavari accennò a forme ancestrali di Nummuliti triassiche. Questo importante materiale fu riesaminato da A. Silvestri nel 1939 che così concluse: "Considerate le condizioni del giacimento e sottopostele a critica, l'a. manifesta l'opinione che esso sia da riferirsi al Neotriassico"; verosimilmente cinquant'anni di progressi delle scienze geopaleontologiche non sono bastati a far recedere dall'opinione insostenibile delle Nummuliti triassiche!

Nel 1867 è istituito il Regio Comitato Geologico, ad opera del quale viene pubblicata, tra la fine del XIX e gli inizi del XX secolo, la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

Questa importante opera in Toscana fu realizzata in prevalenza da Bernardino Lotti di Massa Marittima, che operò principalmente nella Toscana Marittima, e da Dario Zaccagna di Carrara, che curò in particolare le Alpi Apuane. Le opere di questi due studiosi e infaticabili rilevatori di campagna, sintetizzate rispettivamente nella *Geologia della Toscana* del 1910 e nella *Descrizione geologica delle Alpi Apuane* del 1932 sono state a fondamento delle interpretazioni geologiche in Toscana fino agli anni Sessanta, quando furono eseguiti nuovi rilevamenti generali per la II

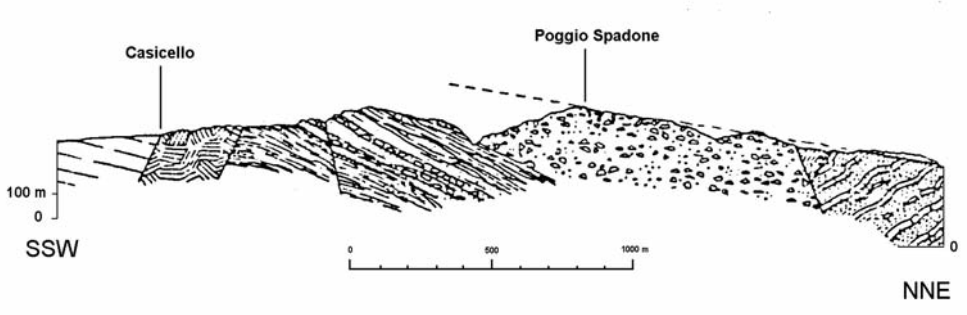


Fig. 6 – Sezione geologica del Monte di Torri tra le valli dell'Era e dell'Evola.

edizione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Con l'eccezione di alcuni particolari, le loro opere sono improntate a grande uniformità di idee, per cui possono essere riassunte contemporaneamente. Dal punto di vista stratigrafico:

- per il Verrucano, in conformità con il significato cronostratigrafico che questa formazione ampiamente diffusa anche nelle Alpi assunse più che altro fuori di Toscana, accettavano un'età permo-carbonifera; anche se Lotti nel 1919 ebbe a ripensarci: "Ma le mie idee sono già da un pezzo queste: che una parte degli scisti superiori del Verrucano siano triassici; sebbene nella carta da me rilevata non mi sia stato possibile delimitarli…";

- presenza del Trias (molto sviluppato e corrispondente grosso modo alla seconda metà del periodo) alla base della serie sedimentaria mesozoica; questa mostra in molte località un moderato metamorfismo nei calcari dolomitici spesso brecciati (noti come "Grezzoni"), nei marmi (fra i quali il famoso "Statuario" delle Alpi Apuane, calcescisti e scisti sericitici di vario tipo, negli scisti ardesiaci, cipollini e calcari selciferi; nelle Alpi Apuane, nel Monte Pisano, nella Montagnola Senese e nel M. Argentario, tutte le rocce precedenti considerate triassiche (anche se in realtà con documentazione paleontologica tuttaltro che convincente in questo senso) sono sormontate da calcari cavernosi attribuiti al Retico (piano più alto del Trias superiore);

- al di sopra del calcare cavernoso si estende la serie toscana non metamorfica con i calcari a *Rhaetavicula contorta*, i calcari liassici, i calcari ammonitici, ecc. ma nella quale ora si afferma di avere rintracciato due importanti e generali lacune di sedimentazione: una tra il Lias superiore e il Titonico (Giurassico superiore) ("molto evidente" e accompagnata da discordanza tettonica nella Catena Metallifera), un'altra tra il Neocomiano (Cretaceo inferiore) e il Senoniano (Cretaceo superiore);

- la serie toscana si chiuderebbe con un "Eocene" eccezionalmente potente formato dalla seguente successione dal basso: calcari nummulitici, arenaria Macigno, argilloscisti e calcari con rocce ofiolitiche e diaspri, calcari marnosi a *Helminthoides* o, talora, arenarie "superiori";

- lunga lacuna di sedimentazione dall'Eocene al Miocene superiore o, in certe località, al Pliocene con discordanza dei sedimenti di questi ultimi, presenti solo nel "subappennino" ma non nell'arco appenninico vero e proprio o catena montuosa attuale.

Dal punto di vista tettonico:

esistenza di una Catena Metallifera anche in senso geologico che fu corrugata (cioè nella quale gli strati furono dislocati in pieghe) con emersione dal mare ed erosione fra il Lias e il Giurassico superiore (fase "batoniana") della quale avrebbero fatto parte le località nelle quali oggi affiorano le rocce mesozoiche;

- inizio del corrugamento solo fra il Cretaceo inferiore e il superiore (fase "cenomaniana") nella Catena Appenninica vera e propria nella quale non affiorano le rocce mesozoiche;

- stile tettonico della Catena Metallifera caratterizzato da pieghe armoniche (magari fittamente addossate ma mai stirate da originare contatti tettonici anormali come faglie inverse, piani di accavallamento, ecc.) con grande raccorciamento crustale di tutta la regione rispetto al substrato e prevalenza di anticlinali o ellessoidi come strutture tettoniche;

- nella Catena Metallifera, Lotti ammette la presenza di una quantità notevole di faglie normali (Zaccagna, pur non avendo mai negato l'eventualità della formazione di questo tipo di faglie, non ne ha mai segnalata una in tutti i suoi estesissimi rilevamenti) collegate ad una grande distensione crustale che sarebbe stata molto posteriore al corrugamento appenninico e contemporanea (nel Quaternario) allo sprofondamento dell'area tirrenica e alle manifestazioni idrotermali e metallogeniche.

Da rigoroso pragmatista, Lotti introduce nelle conoscenze geologiche della Toscana due idee rivoluzionarie: l'esistenza di graniti recenti e quella di raddoppi tettonici

Dell'esistenza di graniti recenti, Lotti ebbe la certezza quando individuò nell'Isola d'Elba un calcare nummulitico metamorfosato dal contatto

col magma granitico del M. Capanne. Malgrado fosse ancora imperante fra gli studiosi l'idea, di antica derivazione nettunista, della formazione "primaria" di tutti i graniti, Lotti nel suo lavoro del 1884 *Considerazioni sull'età e sull'origine dei graniti toscani* attribuì al granito del M. Capanne un'età sicuramente post-eocenica e, sulla base di altre considerazioni geologiche, probabilmente miocenica. Questa presa di posizione fu considerata quasi un'impertinenza da Carlo De Stefani, professore di geologia a Firenze, che iniziò una polemica virulenta in difesa della natura antica ("primaria") non soltanto del granito elbano, ma anche di qualsiasi altro granito che si rispetti. Questa polemica durò per trent'anni, nel corso dei quali Lotti continuò sempre a proporre quanto derivava dai suoi semplicissimi dati di osservazione, mentre De Stefani ebbe agio di sfoderare tutte le elucubrazioni di un'arte oratoria raffinata che gli derivava dalla sua laurea in legge. Comunque l'età recente del granito elbano fu confermata nel 1919 da Pietro Aloisi in uno studio petrografico moderno e trovò più recenti attestazioni nei metodi di datazione assoluta entrati in uso circa cinquant'anni fa.

La seconda osservazione "esplosiva" (in quanto non conforme alle idee degli studiosi toscani del tempo, i quali non prevedevano accavallamenti tettonici) fu da Lotti resa nota nel 1888 con il suo *Un problema stratigrafico del Monte Pisano*, in cui proponeva l'esistenza di un'anticlinale ribaltata verso Est con il fianco inverso tagliato da una faglia per spiegare il raddoppio, da lui constatato, fra i Diaspri di età titonica (cioè dell'ultimo piano del Giurassico), documentata dai fossili studiati nel 1887 da Canavari, della serie toscana metamorfica della Valle del Guappero ed i Diaspri, ancora titonici perché sottostanti il Calcare Maiolica fossilifero non metamorfico del M. Maggiore nel M. Pisano. Di nuovo De Stefani prese le difese delle idee conformiste, che non accettavano raddoppi tettonici, negando l'identità cronologica nei due affioramenti di Diaspri: "… si tratta dunque di semplici affinità litologiche quali si trovano normalmente fra rocce di età diversissime, non suffragate da altro argomento, anzi già contrariate dagli indizî paleontologici, oltre che escluse dalla situazione stratigrafica". La giusta via da seguire, dunque, era quella di: "…tornare al primo modo di vedere mio e del Savi, cioè all'idea di rocce in posto, regolarissime, appartenenti alla serie che sta fra il Titonico e l'Eocene, senza ripiegamenti autoctoni e senza carreggiamenti".

Ma l'identità cronologica e stratigrafica (a parte un leggero metamorfismo per i Diaspri del Guappero) era ormai accertata e Lotti, malgrado altre prese di posizione a lui contrarie di Alberto Fucini nel 1907 e di Riccardo Ugolini nel 1908, seguì la strada indicatagli dalle sue osservazioni. Avendo constatato che il fenomeno del raddoppio si estendeva per almeno 4 km, finì per riconoscere in questo un vero e proprio carreggiamento, che considerò tuttavia locale e in tutto riportabile ad una "eccezione" nel quadro tettonico, del quale lui stesso era convinto, della assoluta prevalenza di movimenti tettonici sulla verticale, manifestati dai sollevamenti delle ellissoidi.

Epilogo

Con le due opere fondamentali di Lotti e di Zaccagna, le quali furono pubblicate nei primi decenni del XX secolo ma erano state concepite in base a rilevamenti di campagna e studi in gran parte eseguiti nella seconda metà del XIX, possiamo considerare concluso l'argomento di questo articolo. Ciò non tanto perché ai due maggiori rilevatori del paesaggio geologico della Toscana siano sfuggite evidenze che non sembravano loro ben inseribili nel quadro culturale derivato dalle esperienze dei loro predecessori (in specie di Savi e Meneghini che operarono maggiormente nella prima metà del XIX secolo), ma probabilmente perché la teoria delle falde di ricoprimento (intro-

Il Rifugio WWF Lago di Chiusi

Barbara Anselmi, Andrea Benocci**, Francesca Casini***
*WWF Sezione Locale di Siena, via Campansi, 32 - 53100 Siena
**Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti"
via P.A. Mattioli, 4 – 53100 Siena

Il Lago di Chiusi, nella Valdichiana senese, è un'importante zona umida dove trovano rifugio uccelli acquatici e rare specie vegetali. Nella parte meridionale del lago si trova una delle più consistenti "garzaie" dell'Italia centrale, da qualche anno inserita all'interno del Rifugio WWF "Lago di Chiusi".

Fig. 1 - Mappa del Rifugio WWF "Lago di Chiusi".

Introduzione

Insieme al vicino Lago di Montepulciano (Riserva Naturale provinciale), il Lago di Chiusi è ciò che resta della zona palustre che occupava la Valdichiana prima delle opere di bonifica, iniziate fin dall'epoca etrusca e sistematicamente proseguite dal Settecento ai primi anni del Novecento. Per gli importanti ambienti naturali e le specie ospitate, questo lago è stato proposto come Sito di Importanza Comunitaria (pSIC) ai sensi della Direttiva "Habitat" (Dir. 92/43/CEE). Dal marzo 2004 esso è stato designato anche come Zona di Protezione Speciale (ai sensi della Direttiva "Uccelli", Dir. 79/409/CEE), per il grande valore dell'avifauna ivi nidificante e svernante.

Nel 1999 il Comune di Chiusi, ai sensi della L.R. 49/95, aveva già istituito l'Area Naturale Protetta di Interesse Locale (ANPIL) Lago di Chiusi, il cui perimetro abbraccia l'intera superficie lacustre per un totale di 818 ettari, di cui 195 chiusi alla caccia. Inoltre, la Sezione WWF di Siena vi costituiva un rifugio faunistico, consistente in un'area di 8 ettari ubicata nella parte meridionale del lago (Fig. 1). Sempre dal WWF è stato recentemente allestito a Poggio Casale, in posizione dominante sul lago, un piccolo Centro Visita da cui partono escursioni guidate ed in cui è possibile svolgere attività didattiche (Fig. 2).

La vegetazione

Le acque libere del Lago di Chiusi si estendono per circa 260 ettari, con una profondità media di 2,7 m e massima di 5,7 m; la zona a canneto, invece, occupa un totale di 270 ettari ed è in gran parte

Fig. 2 – Veduta della parte meridionale del Lago di Chiusi dal Rifugio WWF di Poggio Casale.

situata all'estremità meridionale del lago. Quest'ultima è interrotta da frequenti "chiari", ovvero spazi con acque libere (Fig. 3) utilizzati da molte specie di anatidi per l'alimentazione ed il rifugio; mentre il diradarsi della Cannuccia [*Phragmites australis* (Cav.) Trin.] al loro interno permette la vita di numerose piante acquatiche, alcune delle quali divenute molto rare a livello nazionale a causa della generalizzata scomparsa e perdita di qualità delle zone umide. Così, accanto ai tappeti di foglie di Nannufaro [*Nuphar luteum* (L.) S et S.], alle estese fioriture di Crescione di Chiana [*Rorippa amphibia* (L.) Besser] (Fig. 4) e alle periodiche proliferazioni della piccola felce *Azolla caroliniana* Willd. (Fig. 5), nelle acque basse vegetano la rara Castagna d'acqua (*Trapa natans* L.), il cui frutto è dotato di uncini per ancorarsi al fondo e germogliare, e

Fig. 3 – Canneto con "chiari" e salici.

l'Utricolaria (*Utricularia vulgaris* L.), dal fiore color giallo-uovo. A ridosso delle sponde crescono la Sagittaria (*Sagittaria sagittifolia* L.) le cui foglie aeree, diversamente da quelle galleggianti, hanno forma di freccia, l'Iris palustre (*Iris pseudacorus* L.), le tife (*Typha* sp.) e gli scirpi (*Scirpus* sp.). Benché ridotta a pochissime piante, si rinviene ancora la bellissima Ninfea bianca (*Nymphaea alba* L.), la cui completa scomparsa dall'altro lago chianino (di Montepulciano) è dovuta agli irrispettosi lavori di "ripulitura" e "messa in sicurezza" dei canali e delle sponde. Da segnalare, infine, è la presenza di *Vallisneria spiralis* L., una rara specie acquatica dalla caratteristica impollinazione: i fiori maschili si distaccano sott'acqua, raggiungono la superficie e galleggiano fino ai fiori femminili; questi sono portati da un peduncolo che, a fecondazione avvenuta, si avvolge a spirale riportandoli in profondità, dove maturano il loro frutto.

Fig. 4 – Il bosco di salici e pioppi in primavera, con le fioriture di Nannufaro (in primo piano) e di Crescione di Chiana.

Gli uccelli e la garzaia

Con il termine di "garzaia" (da *garza*, che in spagnolo significa airone) si indicano gli ambienti nei quali si radunano per la nidificazione intere colonie di Ardeidi. La garzaia del Lago di Chiusi, proprio sotto il Poggio Casale, si ritrova laddove il canneto, in associazione con un bosco igrofilo costituito in prevalenza da salici cinerei (*Salix cinerea* L.) (Fig. 6), forma un intreccio spesso impenetrabile. Da maggio a settembre il bosco di salici ospita un centinaio di coppie di aironi in nidificazione, la cui attività fu ben dipinta nel XIX secolo da Paolo Savi nel suo trattato *Ornitologia toscana*: "... giungendo a penetrare in una di queste garzaje, odesi un romorìo fortissimo e indescrivibile, prodotto dallo stridere e gracitare contemporaneamente di tutto quell'uccellame...". In pochi ettari si concentrano ogni anno esemplari di Nitticora (*Nycticorax nycticorax*) (Fig. 7), Garzetta (*Egretta garzetta*), Airone rosso (*Ardea purpu-*

Fig. 5 – Nella garzaia sommersa prolifera la piccola felce galleggiante *Azolla caroliniana*, che colora di rosso la superficie del lago.

Fig. 6 – Il Salice cinereo, pur non molto comune in Toscana, è il più frequente all'interno della garzaia. Spesso è utilizzato dagli aironi per costruirvi i nidi. La figura mostra i fiori maschili, che spuntano in febbraio-marzo.

rea) (Fig. 8) e Sgarza ciuffetto (*Ardeola ralloides*) (Fig. 9), che costruiscono i loro nidi sui salici e a pochi metri da terra per difendere i loro piccoli dall'intrico della vegetazione e dal suolo perennemente allagato. In primavera, con l'arrivo dei nuovi nati, la garzaia si anima per il continuo andirivieni degli adulti che portano il cibo al nido e per il "vociare" dei piccoli che non esitano a gettare escrementi e rigurgiti su eventuali intrusi. Appesi ai salici, inoltre, non mancano i nidi di Pendolino (*Remiz pendulinus*), mentre il Basettino (*Panurus biarmicus*) preferisce il circostante canneto, ambiente congeniale anche alla nidificazione del Falco di palude.

Mentre durante la primavera e l'estate il lago è animato dai voli di decine di coppie di aironi, durante l'inverno esso non soltanto non si spopola,

Fig. 7 – Individuo di Nitticora in riposo.

ma si arricchisce di nuove specie. Da Poggio Casale è possibile osservare da vicino, nei prati umidi e nei terreni agricoli circostanti, gruppi numerosi di Pavoncella (*Vanellus vanellus*), Gabbiano comune (*Larus ridibundus*) e Beccaccino (*Gallinago gallinago*) mischiati fra loro e intenti alla ricerca di cibo. Vicino all'acqua e lungo i canali sostano invece l'Airone bianco maggiore (*Casmerodius albus*), negli ultimi anni sempre più numeroso, la Garzetta (*Egretta garzetta*) e l'Airone cenerino (*Ardea cinerea*). Se si ha pazienza, inoltre, è possibile veder volare anche il Falco di palude (*Circus aeruginosus*) e il Nibbio bruno (*Milvus migrans*). Nei cespuglieti e nelle pioppete, infine, si ritrovano centinaia di fringuelli (*Fringilla coelebs*) e altri passeriformi. Il loro numero, unitamente alla lista degli svernanti, potrebbe essere assai più lungo e comprendere popolamenti più consistenti degli attuali a causa del disturbo dovuto all'attività venatoria (consentita nella parte meridionale del lago).

Nel 1998 la garzaia ha ospitato due coppie di Mignattaio (*Plegadis falcinellus*), un bellissimo ibis dal lungo becco ricurvo e dal piumaggio scuro e lucente. Questa specie rappresenta un "cliente" d'eccezione, visto che nel nostro continente nidifica principalmente nei Paesi dell'Est ed è solita sostare in Italia soprattutto durante le migrazioni. Negli ultimi anni la garzaia ha visto nidificare anche l'Airone guardabuoi (*Bubulcus ibis*), specie che in Italia risulta essere in espansione.

La fauna "minore": molluschi, insetti e piccoli mammiferi

Per quanto concerne la cosiddetta "fauna minore", anche se non esistono studi particolareggiati in proposito, nel Lago di Chiusi sono state segnalate negli anni diverse specie.

Sott'acqua, sulla vegetazione vivono i gasteropodi *Viviparus contectus* e *Planorbarius corneus*, le conchiglie dei quali si ritrovano spesso sugli argini del lago e dei suoi canali. Entrambe queste specie sopravvivono solo in poche altre zone umide toscane. Nella vegetazione che borda il lago e i suoi canali vive la Zerinzia (*Zerynthya polyxena*), una farfalla piuttosto rara il cui bruco si nutre

Fig. 8 – Un Airone rosso si "affaccia" dall'intrico di salici della garzaia, dove ha costruito il nido.

delle piante di Aristolochia (*Aristolochia* spp.). Recentemente nel canneto del Rifugio è stato trovato il coleottero carabide *Carabus clathratus antonellii*, esclusivo dell'Italia centro-settentrionale. Esso misura circa 2-3,5 cm e presenta una bellissima livrea nero-bronzea interrotta da file di punteggiature color rame; durante il giorno si rifugia sotto le canne in decomposizione, mentre di notte va a caccia di girini, insetti e molluschi. Con la scomparsa e il degrado delle zone umide e con la distruzione degli ambienti a canneto, la specie è diventata rara in tutta Italia. Altra recente segnalazione è quella del Topolino delle risaie (*Micromys minutus*), un piccolo muride segnalato in Toscana solo nel Padule di Fucecchio (in provincia di Pistoia). Questa specie è ben distribuita nella Pianura padana, mentre diviene molto rara nel resto della penisola, essendo conosciuta solo per queste due località toscane e per poche altre del Lazio e della Campania. Come gli altri piccoli mammiferi, è difficilmente osservabile ed il suo riconoscimento deriva dallo studio dei boli di rigetto dei rapaci notturni, prelevati negli edifici abbandonati nei dintorni dei laghi. Gli ambienti prediletti dal Topolino delle risaie sono i prati umidi con erbe alte e i canneti a Cannuccia palustre (fragmiteti), nei quali si muove aiutandosi con la lunga coda prensile. In essi costruisce un nido sferico, attaccato alla vegetazione a circa venti centimetri dal suolo, dove alleva i piccoli e trascorre l'estate. Durante l'inverno esso preferisce condurre vita sotterranea.

I problemi del Rifugio

LA CACCIA

Mentre il vicino Lago di Montepulciano è integralmente tutelato da una Riserva Naturale provinciale, la protezione di cui gode attualmente il Lago di Chiusi è insufficiente a garantire dalla caccia la conservazione di molte specie che frequentano le sue acque. Questo vale soprattutto per le specie migratrici e svernanti come gli anatidi, che si trovano a frequentare il lago in autunno e in inverno, quando appunto la caccia è aperta. Una maggiore tutela sarebbe importante in particolare per la zona dei cosiddetti *chiari*, nella parte meridionale del lago, dove il canneto e il bosco igrofilo si alternano alle acque libere, formando un mosaico ideale per lo svernamento di molti uccelli.

Fig. 9 - La Sgarza ciuffetto è uno degli Ardeidi che nidificano regolarmente nella garzaia del lago.

LA GESTIONE IDRAULICA

La delicata vegetazione delle zone umide, sia quella che ricopre le sponde che quella a foglie galleggianti o completamente sommerse, è messa a dura prova dagli interventi di gestione idraulica che interessano il Lago di Chiusi. La periodica ripulitura degli argini e il dragaggio dei canali causano, tra l'altro, una progressiva scomparsa o rarefazione di specie rare come la Ninfea bianca.

L'INTERRAMENTO E IL PRELIEVO IDRICO

La naturale tendenza all'interramento del Lago di Chiusi è notevolmente accelerata dall'influenza antropica, specialmente per la lavorazione meccanica delle terre circostanti che provoca, durante le piogge, l'immissione di acque cariche di sedimenti. Per l'ultimo secolo puo' essere stimato un interramento del lago pari a circa il 30% della sua superficie.

Anche il prelievo di acqua, sia diretto che in falda, per scopi agricoli e civili, ha notevolmente inciso sull'equilibrio ecologico del lago, soprattutto in questi ultimi anni interessati da gravi siccità,

In ogni caso, la prossima realizzazione, da parte del Comune di Chiusi, di un depuratore per tutti gli scarichi civili che ancora interessano il lago, costituisce un elemento particolarmente positivo e importante.

Gli studi in corso

La garzaia di Chiusi è oggetto di studi ornitologici dal 1989, allorché in essa venne eseguito il primo censimento degli aironi nidificanti. Un secondo censimento (dal quale risultò che la Garzetta, con circa 50 coppie, era la specie più numerosa) è stato eseguito nel 1998. Oggi il lago è monitorato ogni anno per il censimento degli uccelli svernanti e degli aironi nidificanti.

Per quanto riguarda la vegetazione, da alcuni anni il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena sta studiando le varie specie di piante acquatiche per determinarne le fluttuazioni di abbondanza.

Testi consultati

Arrigoni P.V. & Ricceri C. (1982) - *La vegetazione dei laghi di Chiusi e di Montepulciano (Siena)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., B, 88, 285-299.

Ceccolini G., Cenerini A. & Anselmi B. (2000) - *Parchi e aree protette della Toscana*. Regione Toscana e WWF Toscana, Editrice Il mio amico, Roccastrada.

Favilli L., Pezzo F. & Manganelli G. (1999) - *La fauna dei laghi di Chiusi e di Montepulciano*. In: "Giacomo Arrighi Griffoli: un ornitologo lucignanese di fine ottocento" (Barbagli *et al*., eds,), 45-56. Tipografia Rossi, Sinalunga.

Manganelli G., Pezzo F. & Piazzini S. (2002) - Micromys minutus *(Mammalia, Rodentia, Muridae) nel comprensorio dei laghi di Chiusi e di Montepulciano (Toscana - Umbria)*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., B, 108: 109-111.

Pezzo F., Cappelli G. & Manganelli G. (1999) - *Prima nidificazione del Mignattaio,* Plegadis falcinellus*, in Toscana*. Riv. Ital. Ornitol., 69, 138-142.

Scoccianti C. & Tinarelli G. (1999) - *Le Garzaie in Toscana. Status e prospettive di conservazione*. WWF Toscana, Ser. Scient. 6.

WWF Italia (1993) - *Il Camminatoscana*. Edizioni Ambiente.

WWF Toscana (2000) - *Le Oasi del WWF in Toscana*. L'Erbolario, Lodi.

Siti internet di interesse

Sito della Sezione Locale WWF di Siena, con informazioni sul lago e sulle modalità di visita del Rifugio: http://www.wwfsiena.it

I dipinti murali duecenteschi sotto il Duomo di Siena: dal territorio toscano alla tavolozza degli artisti medievali

Francesca Droghini, Giovanni Guasparri, Sonia Mugnaini, Andrea Scala
Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti", Sezione di Geochimica Ambientale e Conservazione del Patrimonio Culturale Lapideo
Via Laterina, 8 - 53100 Siena

I dipinti murali recentemente rinvenuti sotto il Duomo di Siena costituiscono un documento storico ed artistico di grandissima importanza della scuola pittorica senese tardo-medievale, riferibile ai precursori di Duccio di Buoninsegna e verosimilmente a Duccio stesso. Fra le varie competenze coinvolte nell'approfondimento delle conoscenze di queste opere d'arte, il nostro gruppo di ricerca si occupa da tempo dello studio dei dipinti con un approccio di tipo scientifico-naturalistico per supportare l'intervento di restauro tuttora in corso e per portare contributi alla loro valorizzazione. Con questo articolo si vuole cogliere l'occasione per guardare al nostro territorio attraverso queste importanti opere d'arte, mettendo in rilievo il legame tra i materiali in esse impiegati e una realtà prolifica come quella toscana.

Introduzione

Una recente campagna di scavi effettuata sotto il pavimento del Duomo di Siena ha riportato alla luce dipinti murali rimasti sepolti a partire dalla metà del XIV secolo. Essi costituiscono un eccezionale ciclo pittorico che risale al primo periodo della pittura senese (l'inizio dell'opera è collocabile intorno al 1270). Se la loro importanza è già stata in parte delineata su basi essenzialmente artistiche e storiografiche (Guerrini, 2003), rimane da acquisire una loro compiuta valorizzazione sulla base degli esiti degli interventi di restauro che sono in via di ultimazione. Tali interventi, seguendo le moderne concezioni sulla tutela e conservazione dei beni culturali, si inquadrano in una metodologia di approccio scientifico che si integra con le conoscenze e competenze storiche ed artistiche. In questo ambito, il nostro gruppo di ricerca ha da tempo intrapreso un ampio e approfondito studio sui dipinti, mirato alla caratterizzazione dei materiali impiegati e delle tecniche pittoriche, nonché del loro stato di conservazione.

Con questo contributo si intende illustrare alcuni dei principali risultati acquisiti in merito ai materiali utilizzati per la realizzazione delle pitture murali, quali gli intonaci e i pigmenti. In particolare si è focalizzata l'attenzione sul legame di tali materiali con il territorio e quindi sulla stretta relazione tra arte e aspetti naturali dell'ambiente circostante.

I metodi di analisi seguiti sono quelli propri delle discipline che afferiscono alle Scienze della Terra. Anche se questo tipo di approccio non è usuale nell'ambito degli studi sui dipinti murali, esso in realtà è pienamente in sintonia con il fatto che i materiali costitutivi dei dipinti sono direttamente o indirettamente di origine geologica. Le stesse metodologie consentono anche di entrare nel merito di come i pigmenti sono applicati per la realizzazione dei dipinti. Alcuni esempi significativi vengono riportati in proposito in questo contributo.

Brevi cenni storici sui dipinti

Il locale che ospita i dipinti ha una superficie di circa 220 m^2 ed è ubicato sotto il pavimento della Cattedrale, a ridosso del Battistero di San Giovan-

ni. Le pitture ricoprono completamente le pareti perimetrali di tale locale, nonché due pilastri a base ottagonale. Esse si articolano in circa quarantacinque scene che raffigurano storie dell'Antico e del Nuovo Testamento e che culminano nei maestosi episodi della *Crocifissione*, della *Deposizione dalla croce* e della *Deposizione nel sepolcro*. Soprattutto nello zoccolo, le scene sono accompagnate da molteplici tipologie di motivi decorativi prevalentemente geometrici (Fig. 1).

Le vicissitudini storiche che hanno interessato i dipinti, ricostruite sulla base dei recenti studi archeologici, sono assai articolate e legate alla stessa complessa evoluzione della Cattedrale senese.

Alla fine del XIII secolo l'ambiente che ospita i dipinti poteva rappresentare un atrio di ingresso posteriore al Duomo (Causarano *et al*., 2003; Seidel, 2003), ma anche fungere da luogo di culto. Alterazioni cromatiche e tracce di fuliggine dovute alla combustione di candele sono chiari segni connessi con questo uso (Fig. 2). A partire all'incirca dal 1320 il locale perse la sua funzione originaria in concomitanza con importanti lavori di ampliamento della Cattedrale; a quest'epoca risalgono iscrizioni, segni e disegni volontariamente incisi sui dipinti (Fig. 3). Intorno al 1350 le volte decorate del soffitto, di cui rimangono alcuni resti nella parte superiore dei dipinti, furono abbattute e l'ambiente fu gradualmente riempito da detriti (tra cui porzioni delle stesse volte costolonate, ritrovate nelle recenti operazioni di scavo) per garantire un adeguato supporto al sovrastante pavimento della Cattedrale in via di costruzione. I dipinti sono rimasti sepolti per oltre sei secoli, con l'eccezione di una limitata porzione di essi posta in corrispondenza della parete occidentale ove i detriti furono parzialmente rimossi intorno agli inizi del XVIII secolo per la realizzazione di alcuni loculi (Causarano *et al.,* 2003). La rimozione del riempimento negli anni 2000-2001, che ha consentito di riportare alla luce i dipinti murali, è stata seguita dagli indispensabili lavori strutturali di supporto al pavimento del Duomo, dall'allestimento del locale per le visite turistiche, nonché dalla messa in opera del cantiere di restauro e di sistemi per il controllo e l'equilibratura delle condizioni microclimatiche.

Fig. 1 - Una scena dei dipinti murali duecenteschi recentemente scoperti sotto il Duomo di Siena (Deposizione dalla Croce, ubicata nella parete sud). Nella parte inferiore si osserva lo zoccolo decorato con motivi geometrici. L'immagine testimonia l'aspetto dei dipinti precedente all'intervento di restauro ancora in corso.

Fig. 2 - Fuliggine e alterazioni cromatiche dovute al calore della fiamma delle candele che trasforma in rosso il colore giallo delle ocre pigmentanti. Questi fenomeni sono assai diffusi nelle porzioni sottostanti le scene.

Fig. 3 - Iscrizioni volontariamente incise sulle pitture, da ricondurre ai primi decenni del XIV secolo quando i locali videro il progressivo abbandono. Oltre ad iscrizioni, si rinvengono diffuse incisioni rappresentanti stemmi araldici, tetragrammi (antica notazione musicale) e nodi di Salomone.

Metodi di studio

Lo studio dei materiali che costituiscono i dipinti è stato effettuato su microframmenti di dimensioni generalmente inferiori al millimetro. I prelievi sono stati eseguiti in stretta collaborazione con lo *staff* addetto al restauro, seguendo criteri di minima invasività e massima rappresentatività, e sono stati per lo più effettuati nell'intorno delle lacune esistenti.

Il metodo di base consiste nell'analisi al microscopio ottico polarizzatore di sezioni sottili dei microframmenti (spessore di circa 30 μm) eseguite perpendicolarmente alla superficie pittorica (sezioni sottili trasversali). Il microscopio impiegato è uno strumento opportunamente equipaggiato per eseguire, anche in rapida successione, osservazioni sia in luce trasmessa che riflessa, tecnica quest'ultima assai importante anche perché consente una riproduzione dei colori più vicina a quella osservabile ad occhio nudo. La microscopia ottica in sezione sottile, oltre a permettere una prima diagnosi sui materiali, si rivela una metodologia di fondamentale importanza per la caratterizzazione della microstratigrafia della pellicola pittorica e assume un ruolo prioritario nel riconoscimento delle tecniche di applicazione dei pigmenti. A quest'ultimo scopo, il metodo petrografico (di uso non corrente per questo tipo di indagini) è stato testato su provini di riferimento preparati con l'ausilio dei restauratori, i quali hanno riprodotto, con materiali simili a quelli in uso nell'epoca in questione, pellicole pittoriche mono- e multi-strato applicate secondo varie modalità su un intonaco opportunamente approntato.

Strumenti e tecniche di *routine* nelle analisi mineralogico-petrografiche, quali il microscopio elettronico a scansione con microsonda (SEM-EDS), la diffrattometria a raggi X e la Spettroscopia Micro-Raman, sono stati applicati allo scopo di confermare ed integrare i dati ottenuti per via ottica.

La muratura e l'intonaco di supporto

I dipinti sono realizzati su un intonaco di supporto che consiste in un singolo strato avente spessore medio intorno ai 5 mm. L'intonaco a sua volta giace direttamente sulla muratura costituita da laterizio o, localmente, dalla pietra calcarea popolarmente nota come "pietra da torre". Nel territorio di Siena, le località storiche di approvvigionamento di questo materiale lapideo, assai tipico dell'edilizia alto-medievale della Toscana meridionale, sono per lo più ubicate sulle pendici orientali della Montagnola Senese (Rodolico, 1953; Gandin *et al*., 2000; Giamello *et al*., 2003).

Sono riconoscibili due tipologie principali di intonaco: un intonaco a sola calce (Fig. 4) e un intonaco a calce con cocciopesto (Fig. 5).

L'aggregato sabbioso dell'intonaco è costituito da clasti in gran parte derivanti da erosione della formazione sabbioso-conglomeratica pliocenica, formazione che rappresenta il substrato geologico su cui insistono il centro storico di Siena ed aree limitrofe alla città. Il legante è costituito da calcite microcristallina che si è prodotta in seguito al processo di carbonatazione dell'originario grassello (calce spenta) reagendo con l'anidride carbonica dell'aria secondo la nota reazione:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightleftarrows CaCO_3 + H_2O.$$

Il rapporto legante/aggregato è usualmente compreso tra 1/1,5 e 1/2. In tre scene della parete settentrionale (quella in cui si trovava l'accesso al locale all'epoca della creazione dei

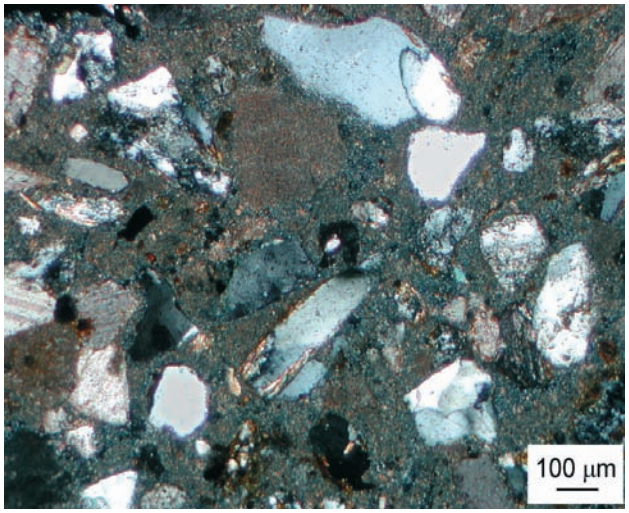


Fig. 4 - Aspetto al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile (Nicol incrociati) dell'intonaco a sola calce.

dipinti) l'intonaco è stato preparato anche con quantitativi variabili di fibre sottili, di probabile origine vegetale, aventi lunghezza fino al centimetro. L'uso di fibre in aggiunta all'intonaco, assai tipico della pittura bizantina, consente una maggiore persistenza dell'umidità, così da agevolare l'esecuzione dei dipinti secondo la tecnica dell'affresco (Matteini, 2001), il classico modo di dipingere su un intonaco ancora umido, come meglio verrà illustrato in seguito. Non è da

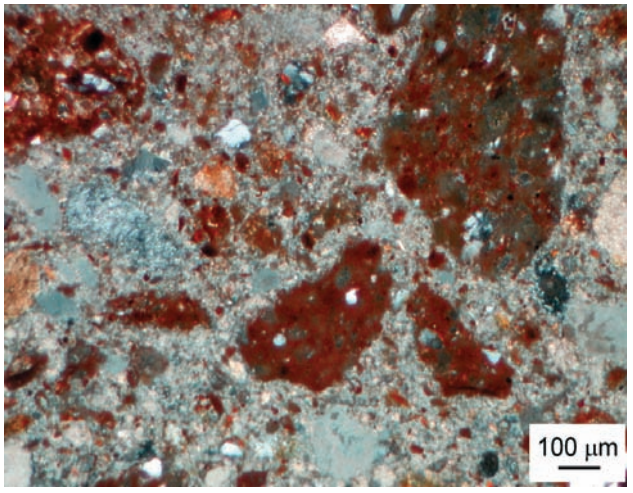


Fig. 5 - Aspetto al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile (Nicol incrociati con lente convergente) dell'intonaco a calce con cocciopesto.

ritenere casuale l'impiego di questo additivo nella parete corrispondente all'antica facciata duecentesca, laddove l'asciugatura dell'intonaco era verosimilmente più rapida rispetto alle altre pareti del locale.

L'intonaco a calce con cocciopesto si differenzia dall'intonaco a sola calce per il contenuto, talora anche molto abbondante, di granuli di cocciopesto, ovvero, come si può intuire dalla stessa denominazione, di frammenti di laterizio; le dimensioni dei granuli di cocciopesto sono assai variabili, con prevalenza della frazione fine (diametro di pochi μm). L'uso dell'intonaco a cocciopesto è limitato alla parete meridionale del locale (quella che ospita le scene della *Crocifissione* e delle due *Deposizioni*) ed ai due pilastri a base ottagonale. L'aggiunta di cocciopesto conferisce all'intonaco buone proprietà idrauliche, particolarmente vantaggiose in situazioni di forte umidità. Queste caratteristiche erano già ben note ai Romani, che usavano cocciopesto o pozzolane naturali per conferire alla calce proprietà idrauliche utili alla realizzazione di interventi in presenza di acqua (acquedotti, porti, etc.). Si può dunque ipotizzare che esso sia stato impiegato con lo scopo di proteggere le pitture ubicate in corrispondenza delle zone più umide; la parete meridionale si trovava infatti a diretto contatto con la roccia in posto caratterizzata da un discreto grado di permeabilità (sabbia pliocenica parzialmente litificata).

L'aggregato dell'intonaco di supporto mostra chiare evidenze di derivazione locale, rappresentate dalla diffusa presenza di frammenti grossolani di arenaria pliocenica (Fabiani *et al*., 2001). Si tratta di un *marker* che, sulla base di nostre specifiche esperienze, è anche da ritenersi significativo sotto l'aspetto cronologico, poiché caratterizza le malte più antiche del centro storico, e più precisamente quelle del periodo che va dall'Alto Medioevo fino al Cinquecento. Non è altrettanto semplice attribuire una provenienza univoca alla calce con la quale gli intonaci sono stati realizzati, ma si può con ragionevole certezza ritenere una loro derivazione dalla cottura di pietre calcaree locali. Nel territorio senese e, più in generale, nella Toscana meridionale, affiora infatti un'ampia gamma di rocce carbonatiche, tra le quali si possono annoverare quelle facenti parte delle varie formazioni alloctone del Cretacico, nonché quelle del Complesso delle Unità Toscane (Lazzarotto, 1993). Le antiche fornaci per la produzione della calce si trovano in prossimità di affioramenti e cave di questo tipo di rocce, ed il loro numero testimonia quanto sia stata diffusa in passato questa attività produttiva.

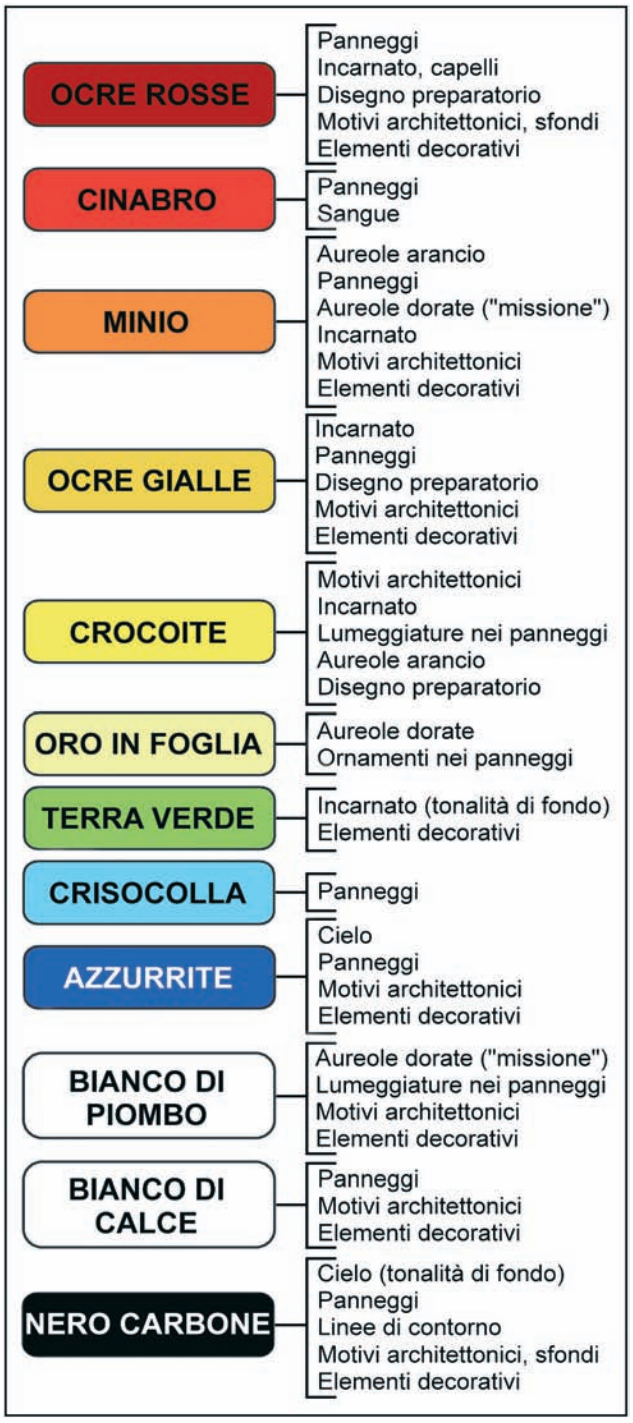


Fig. 6 - Tavolozza dei colori e loro impiego più ricorrente negli elementi iconografici dei dipinti.

I pigmenti

La pellicola pittorica giace sull'intonaco per lo più articolata in più stesure, in ciascuna delle quali si osservano uno o anche più pigmenti, i cui granuli sono tenuti assieme da leganti organici o inorganici, in base alla tecnica pittorica utilizzata (vedi oltre).

I pigmenti individuati sono elencati in figura 6, dove è indicato anche il loro uso più ricorrente nei vari elementi figurativi dei dipinti. La loro frequente stesura in strati sovrapposti e/o la loro mescolanza (alcuni esempi significativi sono riportati nei successivi paragrafi) permetteva all'artista di produrre una vasta gamma di tonalità cromatiche.

Come anticipato nell'introduzione, molti dei pigmenti individuati o le materie prime per la loro produzione potevano essere facilmente reperiti nel territorio toscano. Si può quindi cercare di risalire alle locali fonti originarie di approvvigionamento, pur nella consapevolezza che per una loro identificazione univoca spesso non sono sufficienti neppure studi con tecniche analitiche tra le più sofisticate. Né bisogna dimenticare che in epoca medievale i traffici di materie prime per le opere d'arte erano importanti e potevano interessare gran parte dell'Europa, per cui non si esclude, quanto meno per alcuni pigmenti, la possibilità di provenienze anche piuttosto remote. In ogni caso, in armonia con lo scopo primario di questo lavoro, viene qui di seguito messo in evidenza come il territorio della Toscana meridionale possa esprimere, tra i suoi molteplici materiali geologici di importanza industriale, una buona parte dei prodotti coloranti utilizzati in questo ciclo pittorico duecentesco, e, più in generale, in tutta la pittura murale medievale.

Le *ocre rosse* e le *ocre gialle* rappresentano alcuni dei pigmenti più in uso nella pittura murale fin dall'antichità. Principale componente colorante dell'ocra gialla è la goethite, un ossidrossido di ferro avente formula α-FeOOH; il colore delle ocre rosse è invece legato alla presenza predominante di ematite (α-Fe_2O_3). Le ocre sono da considerarsi miscugli complessi di diverse fasi di ossidi di ferro (normalmente micro o criptocristallini), minerali argillosi, carbonati e minerali residuali in varie proporzioni. Il territorio senese è famoso per la produzione di ocre di varia colorazione, note comunemente come "terre bolari" o anche "terre di Siena" (il nome al singolare "terra di Siena" contraddistingue l'ocra gialla). Queste ocre, già conosciute ed usate dai grandi pittori del Medioevo e sfruttate fino a circa la metà del secolo scorso, provengono da alcuni giacimenti ubicati nelle zone periferiche dell'apparato vulcanico del Monte Amiata e connessi con la formazione di

bacini lacustri tardo-quaternari. In particolare, le terre coloranti vengono distinte sulla base della composizione mineralogica e delle tonalità cromatiche, le quali potevano essere ottenute anche con opportune lavorazioni (ad esempio, tonalità rosse potevano essere prodotte mediante riscaldamento delle terre gialle naturali). Presso l'Accademia dei Fisiocritici di Siena è esposta una raccolta di "Terre bolari naturali e manufatte del Monte Amiata" (completa di tutte le varietà cromatiche), donata nel 1867 dall'illustre naturalista Antonio Pantanelli. Studi a carattere mineralogico e geochimico sulle terre bolari senesi (Manasse *et al*., 2005) hanno evidenziato la peculiare, frequente presenza di elevati contenuti di arsenico (fino al 10.9 in peso %). In un campione di ocra gialla prelevato dai dipinti murali in oggetto è stato rilevato, attraverso analisi al SEM-EDS, un consistente contenuto di arsenico, e ciò può costituire un elemento probante della provenienza locale di questo pigmento.

La zona del Monte Amiata è nota anche per la provenienza del *cinabro*, un solfuro di mercurio avente formula HgS. La più vasta coltivazione delle mineralizzazioni a cinabro nella zona amiatina risale al XVIII e al XIX secolo, prevalentemente finalizzata alla estrazione di mercurio. Tuttavia alcuni giacimenti non lontani dall'abitato di Santa Fiora furono assai probabilmente sfruttati già in epoca etrusca e romana per la produzione del pigmento omonimo, sia a cielo aperto (come i giacimenti delle Solforate), sia in sotterraneo (come le miniere Siele e Morone); nel Medioevo erano soprattutto gli Aldobrandeschi a gestirne l'escavazione (Betti & Pagani, 2000 *cum bibl*.). Il pigmento cinabro veniva ottenuto polverizzando il minerale naturale; alternativamente, già nell'antichità poteva essere ottenuto in maniera artificiale scaldando a fuoco lento una miscela di mercurio (estratto dallo stesso minerale naturale) e solfo, operazione questa che portava alla formazione di un pigmento di colore rosso vivo comunemente noto come cinabro artificiale o vermiglione (Gettens *et al*., 1993a). Non è facilmente accertabile l'origine naturale o artificiale del cinabro impiegato nei dipinti sotto il Duomo di Siena, ma è assai verosimile la provenienza locale della materia prima per la produzione del pigmento.

La *biacca*, o bianco di piombo, anch'essa rinvenuta nei dipinti murali in oggetto, poteva derivare dal minerale naturale idrocerussite (carbonato basico di piombo) o, più comunemente, veniva ottenuta per via sintetica esponendo frammenti di piombo metallico a vapori di acido acetico, e sottoponendo la patina di alterazione superficiale così formatasi a lavaggio, asciugatura e polverizzazione (Gettens *et al*., 1993b).

Il *minio* è un tetraossido di piombo (Pb_3O_4), che nell'antichità veniva ottenuto artificialmente riscaldando la biacca in aria ad una temperatura intorno ai 420-430°C (FitzHugh, 1986).

Possibili giacimenti locali di materie prime da utilizzare per la produzione di biacca e minio potevano ubicarsi nel comprensorio delle Colline Metallifere, dove mineralizzazioni a piombo sono assai diffuse, ma anche in più modesti ma significativi giacimenti a solfuri di piombo presenti in altre zone del territorio senese (Betti & Pagani, 2000).

Altro pigmento di colore bianco rinvenuto nei dipinti è il *bianco di calce*. In questa denominazione comprendiamo sia il bianco di calce propriamente detto, basato su grassello di calce $Ca(OH)_2$ stemperato in acqua (latte di calce), sia il *bianco sangiovanni*, derivante dall'antico procedimento ben descritto da Cennino Cennini ne *Il Libro dell'Arte*, un trattato scritto alla fine del XIV secolo che rappresenta una importante opera di sintesi delle concezioni artistiche del Medioevo (Frezzato, 2003): "Tolli la calcina sfiorata, ben bianca; mettila spolverata in uno mastello per ispazio di dì otto, rimutando ogni dì acqua chiara, e rimescolando ben la calcina e l'acqua, acciò che ne butti fuora ogni grassezza. Poi ne fa' panetti piccoli, mettili al sole su per li tetti; e quanto più antichi son questi panetti, tanto più è migliore bianco. Se 'l vuoi far presto e buono, quando i panetti son secchi triali in sulla tua pria, con acqua, e poi ne fa' panetti e riseccali; e fa' così due volte, e vedrai come sarà perfetto bianco. Questo bianco si tria con acqua e vuole essere bene macinato." L'operazione descritta comportava un buon grado di carbonatazione della calce, ovvero una sua trasformazione in calcite, prima della messa in opera del pigmento. La componente di calce non carbonatata faceva sì che il bianco sangiovanni potesse

avere anche capacità leganti, contribuendo così non solo a schiarire i colori con i quali il pigmento veniva combinato, ma anche a fissarli. La distinzione tra bianco di calce propriamente detto e bianco sangiovanni non è semplice, poiché una volta completato in opera il processo di carbonatazione si forma come prodotto finale, in ambedue i casi, calcite microcristallina. Tuttavia, nelle analisi effettuate sui dipinti del Duomo, abbiamo avuto la possibilità di distinguere le due componenti descritte per via ottica, operando in luce riflessa al microscopio polarizzatore. Analogamente a quanto detto circa il legante a calce degli intonaci di supporto, la provenienza delle materie prime per la produzione della calce come pigmento è da ritenersi locale, data l'ampia disponibilità di rocce carbonatiche anche ad elevato grado di purezza.

Il *nero carbone* è un termine generico per identificare pigmenti neri largamente impiegati nella pittura murale di varie epoche. Esso veniva ottenuto per combustione di vegetali di vario tipo (piante del genere *Quercus*, noccioli di pesca, tralci di vite, etc.), e successiva macinazione dei carboni spenti con acqua fredda. Altro pigmento nero impiegato nell'epoca in oggetto è quello derivante dalla combustione di ossa animali, comunemente denominato nero animale o nero d'ossa. *Marker* tipico di quest'ultimo pigmento è la presenza, assieme al carbonio, di significative quantità di fosforo; questo elemento non è mai stato riscontrato nel pigmento nero dei dipinti murali studiati, e se ne ipotizza pertanto una derivazione vegetale.

Il pigmento *azzurrite* veniva ottenuto per macinazione del minerale omonimo, un carbonato basico di rame avente formula $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, il quale si può comunemente trovare nella zona di ossidazione di mineralizzazioni a rame. La sua provenienza locale potrebbe essere riferita al comprensorio delle Colline Metallifere, laddove mineralizzazioni a rame sono assai diffuse. Alcuni giacimenti cupriferi significativi si rinvengono anche in altre località a sud di Siena; tra essi si possono annoverare le miniere di rame di Poggio Abbù, presso Vallerano (Murlo), molto probabilmente già ben note agli Etruschi (Betti & Pagani, 2000; Betti *et al*., 2001).

È anche interessante, infine, il caso della *terra verde*, un pigmento composto da un fillosilicato del gruppo delle miche prevalentemente rappresentato da glauconite o celadonite, due minerali di composizione chimica assai simile, il primo di origine sedimentaria, il secondo di derivazione da alterazione di rocce vulcaniche (le prime analisi eseguite sul pigmento dei dipinti senesi segnalano la presenza di celadonite). La terra verde più conosciuta in Italia come pigmento è quella a prevalente celadonite proveniente dal Monte Baldo, nota anche come Terra di Verona. Nella letteratura più accreditata sui pigmenti utilizzati nella pittura murale non è mai fatta menzione di una provenienza della terra verde dal territorio toscano. In realtà, nella già citata, antica colle-

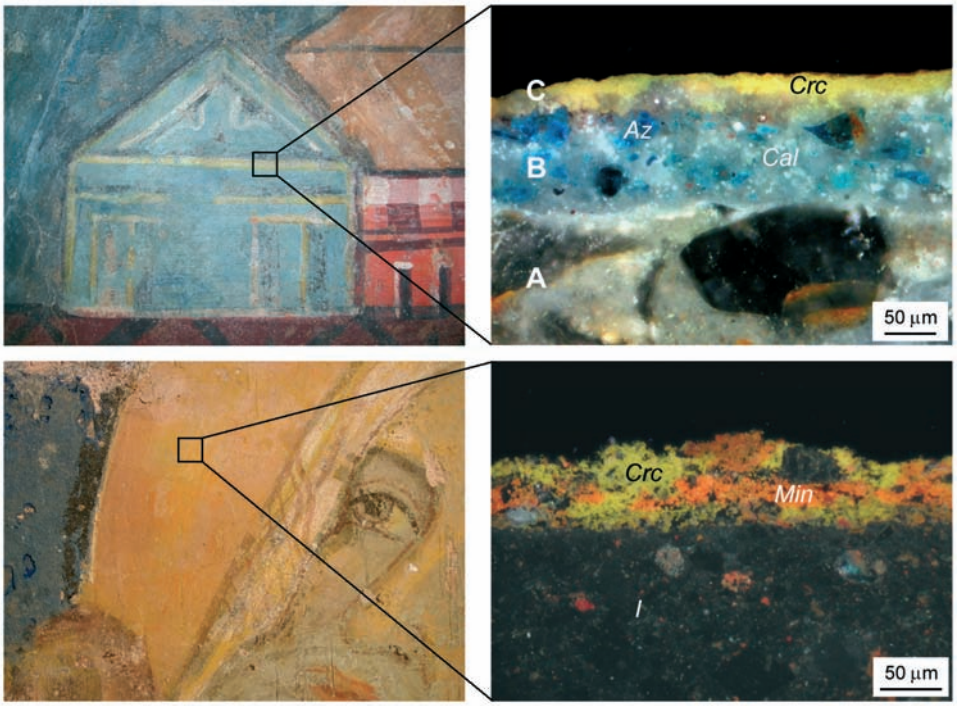


Fig. 7 - Due esempi di impiego della crocoite nei dipinti murali sotto il Duomo di Siena. Le immagini a destra sono ottenute al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile trasversale (luce riflessa, campo scuro). In alto: uso della crocoite in motivi architettonici (scena della Visitazione). Dallo strato più profondo a quello superficiale si può osservare la seguente microstratigrafia: A = intonaco a calce con aggregato sabbioso; B = azzurrite (Az) in legante a calce (Cal) applicata a secco; C = crocoite (Crc) applicata a fresco sullo strato sottostante. In basso: crocoite (Crc) e minio (Min) in un'aureola di colore arancio (scena della Crocifissione). La pellicola pittorica giace su un intonaco a calce con cocciopesto (I).

zione delle terre bolari del Monte Amiata esposta nell'Accademia dei Fisiocritici vi sono quattro campioni di terra verde, con tonalità di colore più o meno scure, conservati in vaschette di vetro. Niente di più facile, quindi, che anche questo pigmento utilizzato nei dipinti duecenteschi sotto il Duomo di Siena sia di derivazione locale.

Crocoite e crisocolla: due nuovi pigmenti nella pittura di età medievale

Da un confronto della tavolozza dei colori di questo ciclo pittorico duecentesco con le attuali conoscenze sull'uso dei pigmenti nella pittura murale alla fine del XIII secolo (e.g. Bensi, 1990; AA.VV, 1995; Sister Daniilia *et al*., 2000), si evince che i pigmenti descritti al paragrafo precedente sono per lo più usuali per l'epoca in questione.

È tuttavia di grande rilevanza il reperimento di crocoite e crisocolla, pigmenti finora mai segnalati in dipinti europei di analoga età.

La *crocoite* (cromato di piombo di formula $PbCrO_4$, monoclino), di colore giallo brillante, è stata impiegata in maniera assai diffusa anche se in piccole quantità (Fig. 7).

Fig. 8 - In alto: crocoite naturale proveniente da Dundas - Tasmania (gentilmente concessa dal Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici di Siena). La polvere (in basso) ottenuta per macinazione di cristalli prismatici di colore rosso assume una colorazione gialla brillante.

Fig. 9 - La crisocolla nel suo impiego in una delle due scene in cui è stata rinvenuta (scena Dio Padre interroga Caino sulla sorte del fratello ripresa prima del restauro).

Le peculiari vicende storiche dei dipinti murali, accertate sulla base dei recenti studi storici ed archeologici, e le stesse relazioni tessiturali della crocoite con gli altri pigmenti e con l'intonaco di supporto (la si trova spesso in miscugli o ad identificare disegni preparatori) indicano che essa è stata applicata entro la metà del XIV secolo, ovvero prima del riempimento del locale con detriti. Questa evidenza non concorda con le attuali conoscenze sulla storia dell'identificazione scientifica della crocoite naturale e della produzione e uso di pigmenti artificiali a base di cromato di piombo, complessivamente noti come "Giallo di Cromo". Tali eventi sono infatti posteriori alla metà del XVIII secolo (Kühn & Curran, 1986). Si può ipotizzare che la crocoite rinvenuta in questi dipinti murali abbia un'origine naturale, ottenuta per macinazione di cristalli ben sviluppati, generalmente di colore rosso (Fig. 8), o da aggregati massivi micro-criptocristallini (già di colore giallastro) rinvenibili nella zona di ossidazione di giacimenti a piombo.

Il minerale in natura è assai raro, e anche ciò può spiegare l'eccezionalità del suo reperimento in questi dipinti murali. La provenienza è ancora da accertare, ma non sembra legata al territorio della Toscana meridionale, dal momento che in letteratura non sono segnalati depositi importanti di crocoite. Una presenza significativa è invece attestata in alcune località europee, principalmente

Germania, Romania, Francia e Scozia, oltre agli importanti depositi degli Urali in cui la crocoite fu per la prima volta scoperta e descritta nel 1766.

La *crisocolla* (silicato idrato di rame amorfo o a bassa cristallinità, dotato di struttura molto difettuale) è stata rinvenuta in due scene del ciclo pittorico, utilizzata in panneggi di colore celeste chiaro-verdastro, sempre applicata con la tecnica della pittura a calce (Fig. 9, 10).

Questo ritrovamento, supportato dal concorso di risultati derivanti da più indagini analitiche, è del tutto eccezionale per dipinti europei di questa età, tenuto conto, per altro, che la crisocolla è solo raramente impiegata in pitture murali; le segnalazioni sono prevalentemente riferite all'area asiatica (Gettens & FitzHugh, 1993). Analogamente a quanto già detto per l'azzurrite, con la quale la crisocolla mostra frequentemente un'intima associazione nella zona di ossidazione di mineralizzazioni cuprifere, la provenienza della materia prima per la fabbricazione del pigmento potrebbe essere ragionevolmente ricondotta al comprensorio delle Colline Metallifere o anche ad altre località della Toscana meridionale a sud di Siena (Betti & Pagani, 2000; Betti *et al*., 2001).

Alcune microstratigrafie significative e tecniche pittoriche

La pellicola pittorica può essere formata da uno o, più frequentemente, da più strati. In molti casi si osservano due strati: uno con funzione di strato di preparazione, o tonalità di fondo, ed uno soprastante che rappresenta la finitura pittorica. Quest'ultimo può a sua volta essere sormontato da sottili velature in lumeggiature, ombreggiature o sfumature di colore (ciò si verifica soprattutto nei panneggi e negli incarnati). Si rilevano tuttavia anche stratigrafie più complesse, per esempio nelle ridipinture o in zone dove campiture di colore adiacenti si sovrappongono. Assai frequentemente alla base della pellicola pittorica si osserva un disegno preparatorio, consistente in un sottile strato, talora discontinuo, di ocre gialle e/o rosse (più raramente di crocoite) applicato a fresco.

Pur nella complessità e nella variabilità riscontrabile anche nell'ambito di analoghi elementi iconografici delle varie scene, nelle immagini che seguono (Fig. 11-15) sono illustrate alcune delle più significative microstratigrafie relative ai principali elementi figurativi (cielo, aureole dorate, incarnati, panneggi di colore rosso, panneggi di colore azzurro), evidenziando anche le tecniche di applicazione dei pigmenti. Quest'ultime sono state distinte, come già in precedenza specificato,

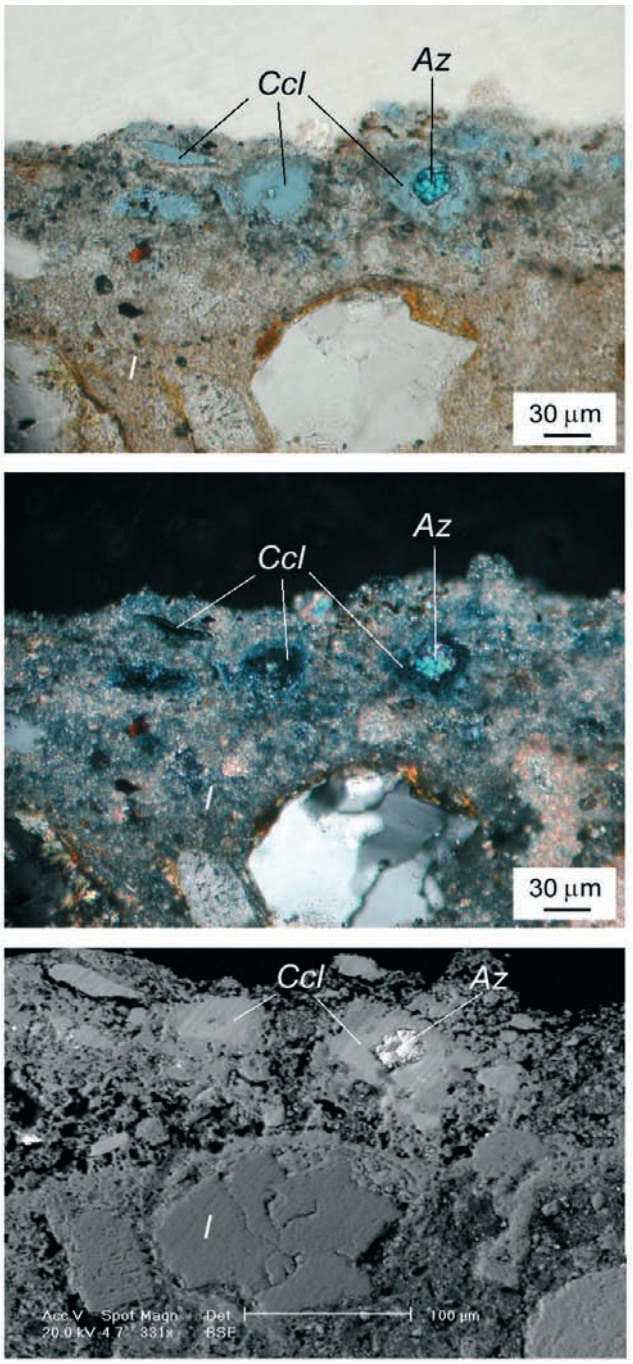


Fig. 10 - Immagini in sezione sottile trasversale della crisocolla (Ccl) rinvenuta in panneggi di colore celeste (dall'alto verso il basso: luce trasmessa, solo polarizzatore; luce trasmessa, Nicol incrociati; microscopio elettronico a scansione, elettroni retrodiffusi). Il pigmento è applicato con la tecnica della pittura a calce sull'intonaco sottostante (I). In un granulo si evidenzia un incluso di azzurrite (Az), testimonianza della stretta relazione tra le due fasi in natura.

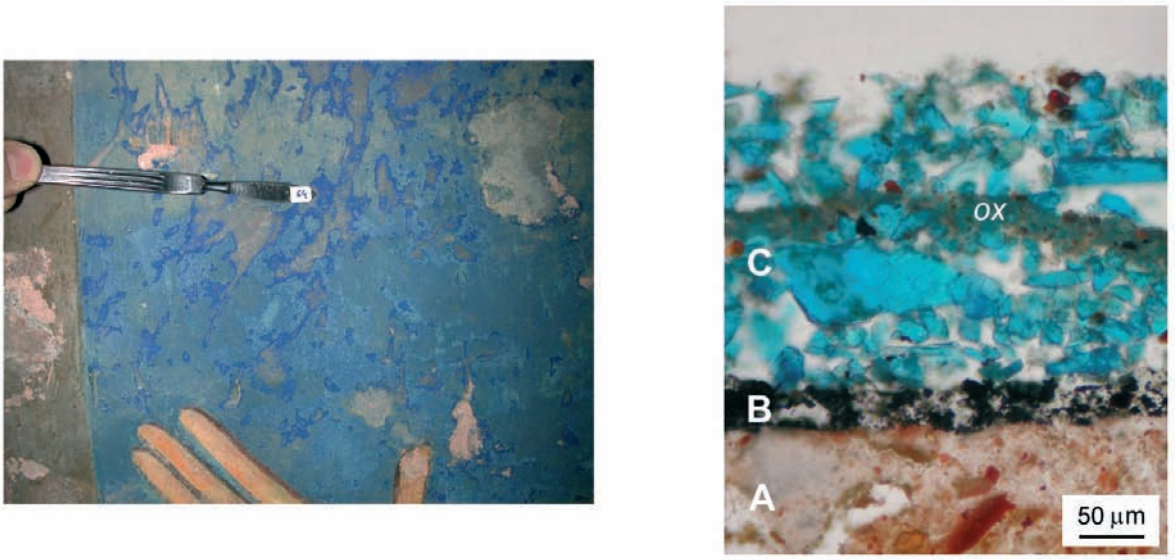


Fig. 11 - Cielo e relativa microstratigrafia (a destra) ottenuta al microscopio polarizzatore in sezione sottile trasversale (luce riflessa in campo scuro con fondo chiaro). Dallo strato più profondo a quello superficiale: A = intonaco a calce con aggregato sabbioso e cocciopesto; B = nero carbone in legante a calce applicato a secco (pittura a calce); C = azzurrite applicata a tempera in due strati con interposto livello di ossalato di calcio (ox), quest'ultimo derivante da trasformazione dell'originario legante organico.

attraverso l'analisi al microscopio polarizzatore in sezione sottile trasversale, analisi che consente di entrare direttamente nel merito delle modalità di applicazione delle varie unità stratigrafiche che compongono la pellicola pittorica, previo l'esame di provini di riferimento e seguendo i criteri tipici dell'analisi petrografica.

Le tecniche riconosciute sono le seguenti:

Affresco: si tratta della classica tecnica pittorica in cui i pigmenti vengono applicati, stemperati in acqua, su intonaco ancora umido, in modo da essere fissati dallo stesso processo di carbonatazione in atto nella calce dell'intonaco.

Affresco a calce: si tratta di una variante della tecnica a fresco (come descritta in Mora *et al*., 1984), e consiste nella stesura su intonaco ancora umido dei pigmenti stemperati in latte di calce (miscela liquida biancastra di grassello di calce e acqua).

Tempera: è una tecnica di pittura a secco (ovvero pittura su intonaco o su sottostanti strati pittorici già asciutti) in cui l'applicazione dei pigmenti avviene con l'uso di leganti organici in dispersione acquosa. I leganti storicamente più impiegati sono emulsioni di uovo, latte, caseina, colle e gelatine animali. Una più specifica caratterizzazione dei composti organici originariamente impiegati è attualmente in corso di svolgimento mediante opportune tecniche analitiche. È da rilevare che le stesure applicate a tempera appaiono essere le

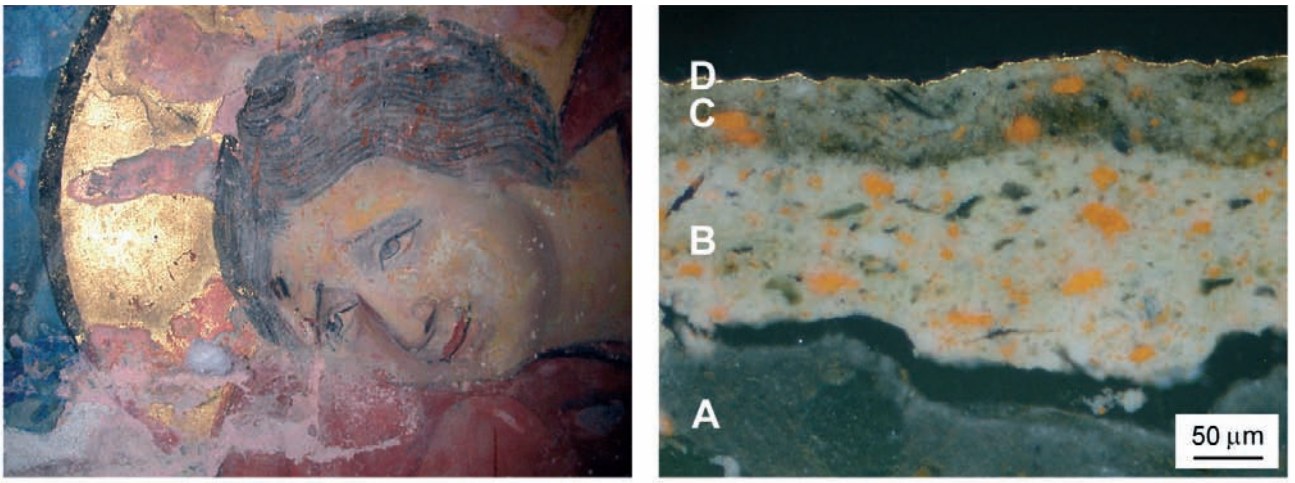


Fig. 12 - Aureola dorata e relativa microstratigrafia (a destra) ottenuta al microscopio polarizzatore in sezione sottile trasversale (luce riflessa in campo scuro). Dallo strato più profondo a quello superficiale: A = intonaco a calce con aggregato sabbioso; B = biacca, minio e probabile verderame (analisi specifiche su questo pigmento sono in corso) in legante organico; C = biacca, minio, probabile verderame e microgranulazioni di difficile identificazione immersi in un legante oleoso (preparazione a "missione"); D = oro in foglia.

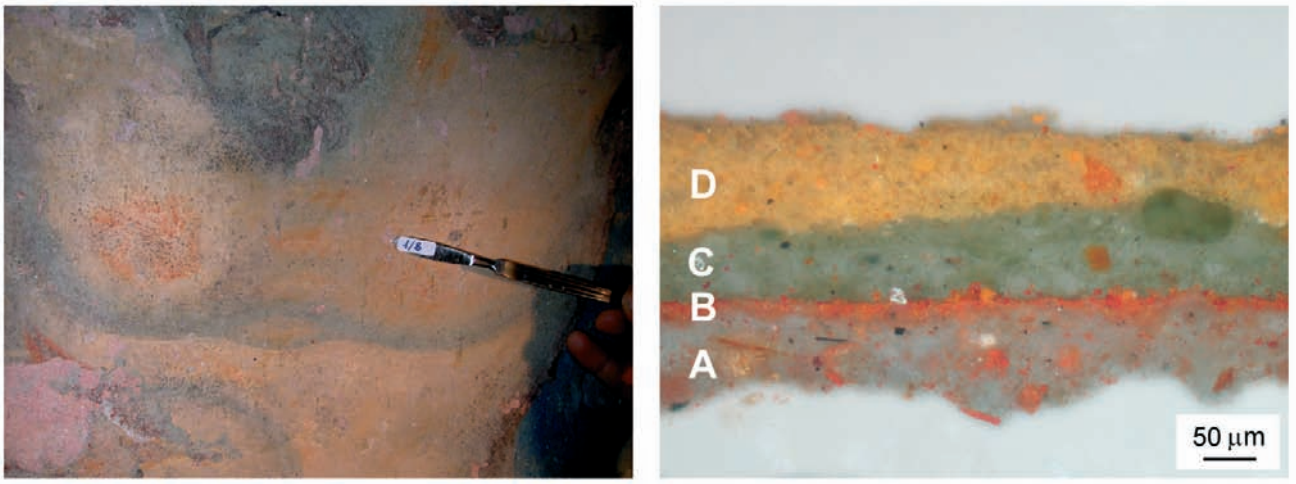


Fig. 13 - Incarnato e relativa microstratigrafia (a destra) ottenuta al microscopio polarizzatore in sezione sottile trasversale (luce riflessa in campo scuro con fondo chiaro). Dallo strato più profondo a quello superficiale: A = intonaco a calce con aggregato sabbioso e cocciopesto; B = ocre rosse applicate a fresco (disegno preparatorio); C = terra verde in legante a calce applicata a secco; D = ocre gialle in legante a calce applicate a secco, con velature superficiali a fresco di minio e ocre rosse.

meno durevoli, a causa della facile perdita nel tempo delle proprietà leganti delle sostanze organiche usate; ciò comporta fenomeni di decoesione del pigmento, ben visibili nelle campiture di azzurrite che rappresentano il cielo.

Pittura a calce: questa tecnica pittorica consiste nell'applicazione di pigmenti miscelati con latte di calce su un intonaco sostanzialmente asciutto, ovvero già carbonatato. La calce, oltre ad avere un'azione legante, ha anche una funzione cromatica, attenuando, con la sua colorazione bianca, la tonalità del pigmento costitutivo dello strato pittorico.

Queste tecniche di base, come illustrato nelle immagini presentate, si trovano spesso in combinazione tra loro in funzione degli effetti pittorici desiderati o per rispondere alle esigenze dei pigmenti impiegati.

Le conoscenze acquisite in merito alle tecniche utilizzate nei dipinti ci permettono di rispondere ad una domanda che frequentemente ci viene posta, spesso anche da chi è a conoscenza del valore della tecnica a fresco per i suoi requisiti consistenti nella forza di espressione cromatica e nella durevolezza dell'opera. La domanda è la seguente: i dipinti in questione possono essere considerati affreschi? La risposta non può essere che affermativa. La tecnica dell'affresco è diffusamente impiegata nei dipinti duecenteschi sotto il Duomo di Siena, anche se non in modo omogeneo ed esclusivo. Ma ciò è inevitabile in questi dipinti come in quelli di altri artisti di poco posteriori (ad esempio Giotto), in cui viene privilegiata la tecnica a fresco, pur necessariamente combinata con altre tecniche come la tempera o la pittura a calce, vuoi per espressa volontà dell'auto-

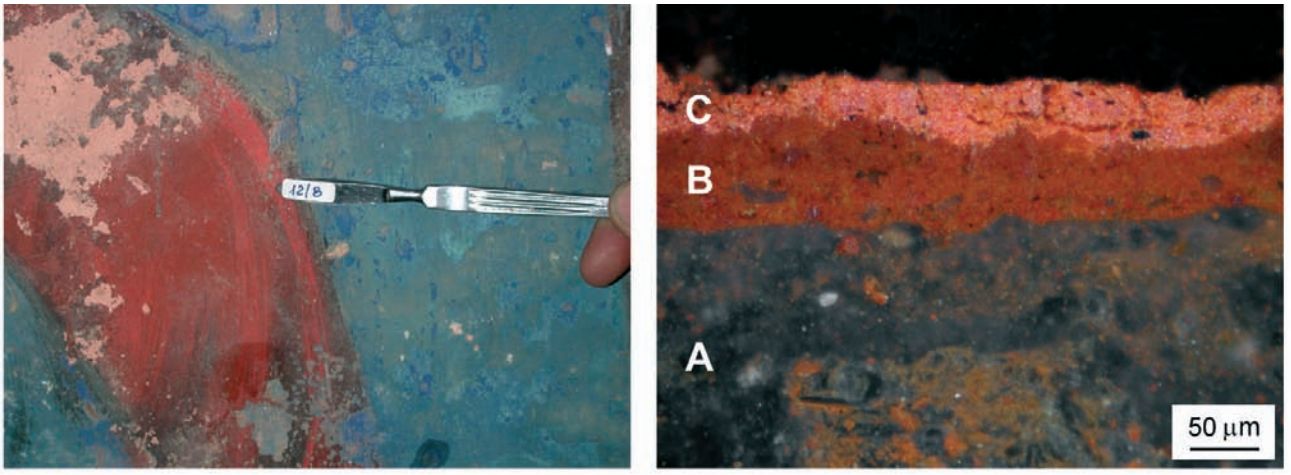


Fig. 14 - Panneggio rosso e relativa microstratigrafia (a destra) ottenuta al microscopio polarizzatore in sezione sottile trasversale (luce riflessa in campo scuro). Dallo strato più profondo a quello superficiale: A = intonaco a calce con aggregato sabbioso e cocciopesto; B = ocre rosse applicate a fresco; C = cinabro applicato a tempera.

re, vuoi per rispondere alle specifiche proprietà dei pigmenti utilizzati.

Si ringrazia l'Opera della Metropolitana di Siena e il Comitato per la Mostra di Duccio, che hanno finanziato le ricerche. Al Prof. Alessandro Bagnoli (direttore dei lavori di restauro) e ai restauratori Giuseppe Gavazzi e Massimo Gavazzi va un particolare ringraziamento per la costante disponibilità a dare sostegno con le loro competenze allo svolgimento delle ricerche.

Testi consultati e citati

AA.VV. (1995) - *Sancta Sanctorum*. Ed. Electa, Milano.

Bensi P. (1990) - *La pellicola pittorica nella pittura murale in Italia: materiali e tecniche esecutive dall'Alto Medioevo al XIX secolo*. In: "Le pitture murali: tecniche, problemi, conservazione" (Danti *et al*., eds.). Ed. Centro Di, Firenze, 73-102.

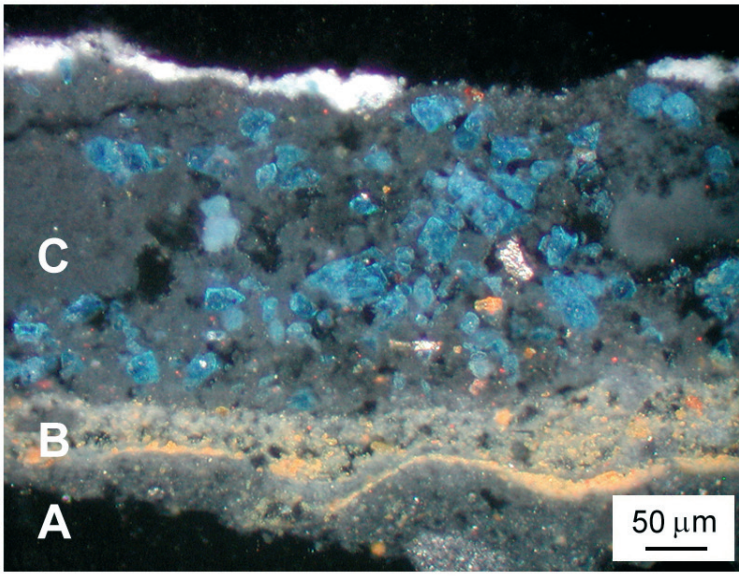
Betti C., Guasparri G. & Pagani G. (2001) - *Carta delle principali località di interesse mineralogico della Toscana meridionale*. Accademia dei Fisiocritici di Siena, Ed. Nuova Immagine, Siena.

Betti C. & Pagani G. (2000) - *Minerali del Senese. Cento località mineralogiche nella provincia di Siena*. Protagon Editori Toscani, Siena.

Causarano M.A., Francovich R. & Valenti M. (2003) - *L'intervento archeologico sotto il Duomo di Siena: dati e ipotesi preliminari*. In: "Sotto il Duomo di Siena. Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative" (Guerrini, ed.). Ed. Silvana, Cinisello Balsamo, Milano, 153-167.

Fabiani F., Giamello M., Guasparri G., Sabatini G. & Scala A. (2001) - *I materiali lapidei dell'architettura senese: l'arenaria pliocenica ("tufo impietrito"). Il supporto scientifico all'intervento di restauro di Palazzo Spannocchi*. Ed. Nuova Immagine, Siena.

FitzHugh E.W. (1986) - *Read Lead and Minium*. In: "Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics"



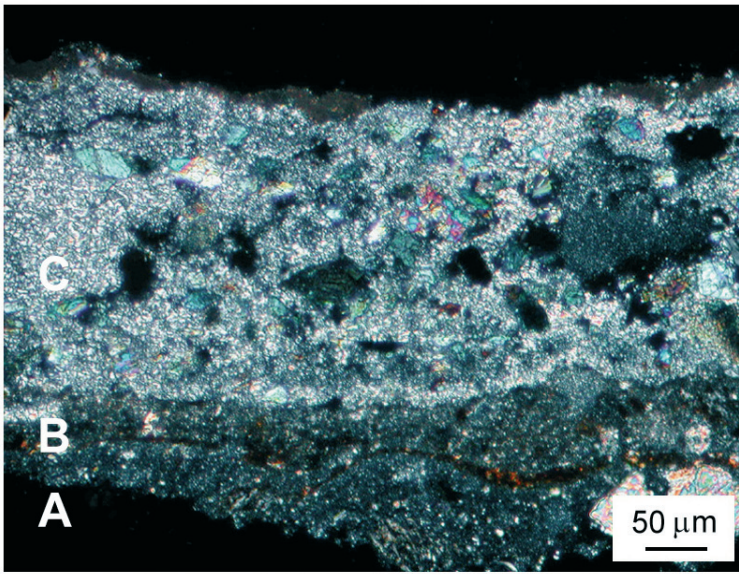


Fig. 15 - Panneggio di colore azzurro (in alto) e relativa microstratigrafia ottenuta al microscopio polarizzatore in sezione sottile trasversale (al centro: luce riflessa in campo scuro; in basso: luce trasmessa, Nicols incrociati). Dallo strato più profondo a quello superficiale: A = intonaco a calce con aggregato sabbioso; B = ocre gialle applicate a fresco (disegno preparatorio); C = azzurrite in legante a calce applicata a secco, con sovrastanti lumeggiature in biacca.

(Feller, ed.). Vol. 1, National Gallery of Art, Oxford University Press, 109-139

Frezzato F. (ed.) (2003) - *Cennino Cennini. Il Libro dell'Arte*. Ed. Neri Pozza, Vicenza.

Gandin A., Giamello M., Guasparri G., Mugnaini S. & Sabatini G. (2000) - *The Calcare Cavernoso of the Montagnola Senese (Siena, Italy): mineralogical-petrographic and petrogenetic features*. Miner. Petrogr. Acta, 43, 271-289.

Gettens R.J. & FitzHugh E.W. (1993) - *Malachite and Green Verditer*. In: "Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics" (Roy, ed.). Vol. 2, National Gallery of Art, Oxford University Press, 183-202.

Gettens R.J., Feller, R.L. & Chase W.T. (1993a) - *Vermilion and Cinnabar*. In: "Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics" (Roy, ed.). Vol. 2, National Gallery of Art, Oxford University Press, 159-182.

Gettens R.J., Kühn H. & Chase W.T. (1993b) - *Lead white*. In: "Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics" (Roy, ed.). Vol. 2, National Gallery of Art, Oxford University Press, 67-81.

Giamello M., Guasparri G., Mugnaini S., Sabatini G. & Scala A. (2003) - *Lo studio dei materiali lapidei del centro storico di Siena*. Arkos, 2, 22-29.

Guerrini R. (ed.) (2003) - *Sotto il Duomo di Siena. Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative*. Ed. Silvana, Cinisello Balsamo, Milano.

Kühn H. & Curran, M. (1986) - *Chrome yellow and other chromate pigments*. In: "Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics" (Feller, ed.). Vol. 1, National Gallery of Art, Oxford University Press, 187-200.

Lazzarotto A. (1993) - *Elementi di geologia*. In: "La storia naturale della Toscana meridionale" (Giusti, ed.). Ed. Pizzi, Milano, 19-87.

Manasse A., Mellini M. & Viti C. (2005) - *Nanocristalli, adsorbimento superficiale e tenori di arsenico delle terre bolari senesi*. Epitome (Periodico della Federazione Italiana di Scienze della Terra), 1, 64.

Matteini M. (2001) - L'affresco e altre tecniche di pittura murale. In: "La matière picturale: fresque et peinture murale" (Collinart & Menu, eds.). Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali (Rovello), Edipuglia, Bari, 47-56.

Mora P., Mora L. & Philippot P. (1984) - *Conservation of wall paintings*. Butterworths, London.

Rodolico F. (1953) - *Le pietre delle città d'Italia*. Le Monnier, Firenze, 287-292.

Seidel M. (2003) - *Tradizione e innovazione. Note sulle scoperte architettoniche nel duomo di Siena*. In: "Sotto il Duomo di Siena. Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative" (Guerrini, ed.). Ed. Silvana, Cinisello Balsamo, Milano, 35-83.

Sister Daniilia, Sotiropoulou S., Bikiaris D., Salpistis C., Karagiannis G., Chryssoulakis Y., Price B.A. & Carlson J.H. (2000) - *Panselinos' Bizantine wall paintings in the Protaton Church, Mount Athos, Greece: a technical examination*. J. Cult. Herit., 1, 91-110.

Limodorum abortivum (Linné) Swartz
Foto "Il Graffio", Follonica

Il mare della Maremma rimane privo di difesa?

Paolo Fanciulli
Via Cala di Forno – 58010 Talamone (Grosseto)

Il fondale marino della fascia infralitorale antistante la costa della Maremma toscana permane soggetto a pratiche di pesca a strascico illegali, con conseguenze drammatiche sulla sua flora e sulla sua fauna. Gli appelli degli operatori della piccola pesca e gli interventi delle Capitanerie di Porto sono stati finora insufficienti ad arginare queste pratiche; tutto ciò sicuramente a detrimento della qualità dell'offerta turistica, che rappresenta la prima vocazione economica della Maremma. Gli strumenti tecnici e giuridici per fermare questo scempio esistono, ma inspiegabilmente se ne continua a rimandare l'utilizzo.

Criticità dello stato globale del sistema pesca

Lo scorso anno il World Resources Institute, tramite l'Assessorato agli Ecosistemi per il Millennio delle Nazioni Unite (WRI-UN, 2005), a fronte dei gravissimi squilibri ecologici provocati nel pianeta dal sistema pesca, ha sottolineato la criticità globale dello stato di quest'ultimo, definendolo addirittura prossimo al collasso. L'anno precedente la Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo della FAO (GFCM, 2004) aveva proclamato l'urgenza prioritaria del controllo di tale attività nel mare suddetto, ove si concentra più del 20% dello "sforzo" di pesca mondiale. Questo avviene perché il Mediterraneo, pur occupando un'area inferiore all'1% di quella marina del pianeta, ne rappresenta ben il 7-8% in termini di biodiversità (vi è infatti un'alta componente di endemismi): tanto che la sua attuale resistenza al degrado naturale irreversibile legato alla pesca (il 50% delle specie ittiche in esso presenti è completamente sfruttato, mentre un altro 25% lo è oltre i limiti della sostenibilità), può essere ascritta proprio all'elevata biodiversità del suo ecosistema.

Negli ultimi 20 anni, in ogni caso, malgrado la flotta da pesca sia passata ad imbarcazioni sempre più efficienti dal punto di vista tecnologico, si è assistito ad una diminuzione progressiva degli stock ittici sia di fondale che pelagici. Più in particolare, i pesci di fondale sono in genere ampiamente sfruttati, se non iper-sfruttati, con una tendenza generale verso la pesca di individui di minori dimensioni, mentre quelli pelagici, soprattutto se di grossa taglia come il tonno ed il pesce spada, sono regolarmente iper-sfruttati anche dalle flotte industriali internazionali.

Questo progressivo decremento della fauna ittica mediterranea non puo' non essere collegato all'incessante distruzione di biocenosi bentoniche di elevato significato ecologico come quella della prateria a *Posidonia*. Ciò risulta evidente in aree poco o affatto influenzate da fattori di degrado

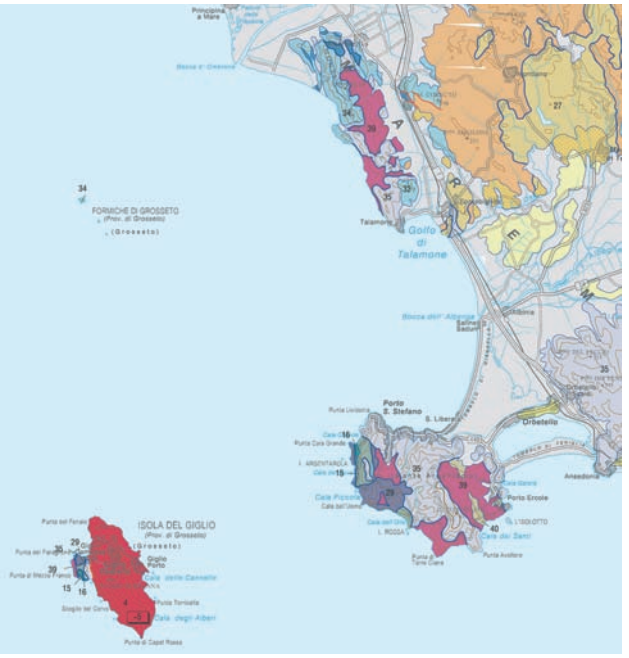


Fig. 1 - Particolare della carta geologica della Toscana, con l'area marina di riferimento.

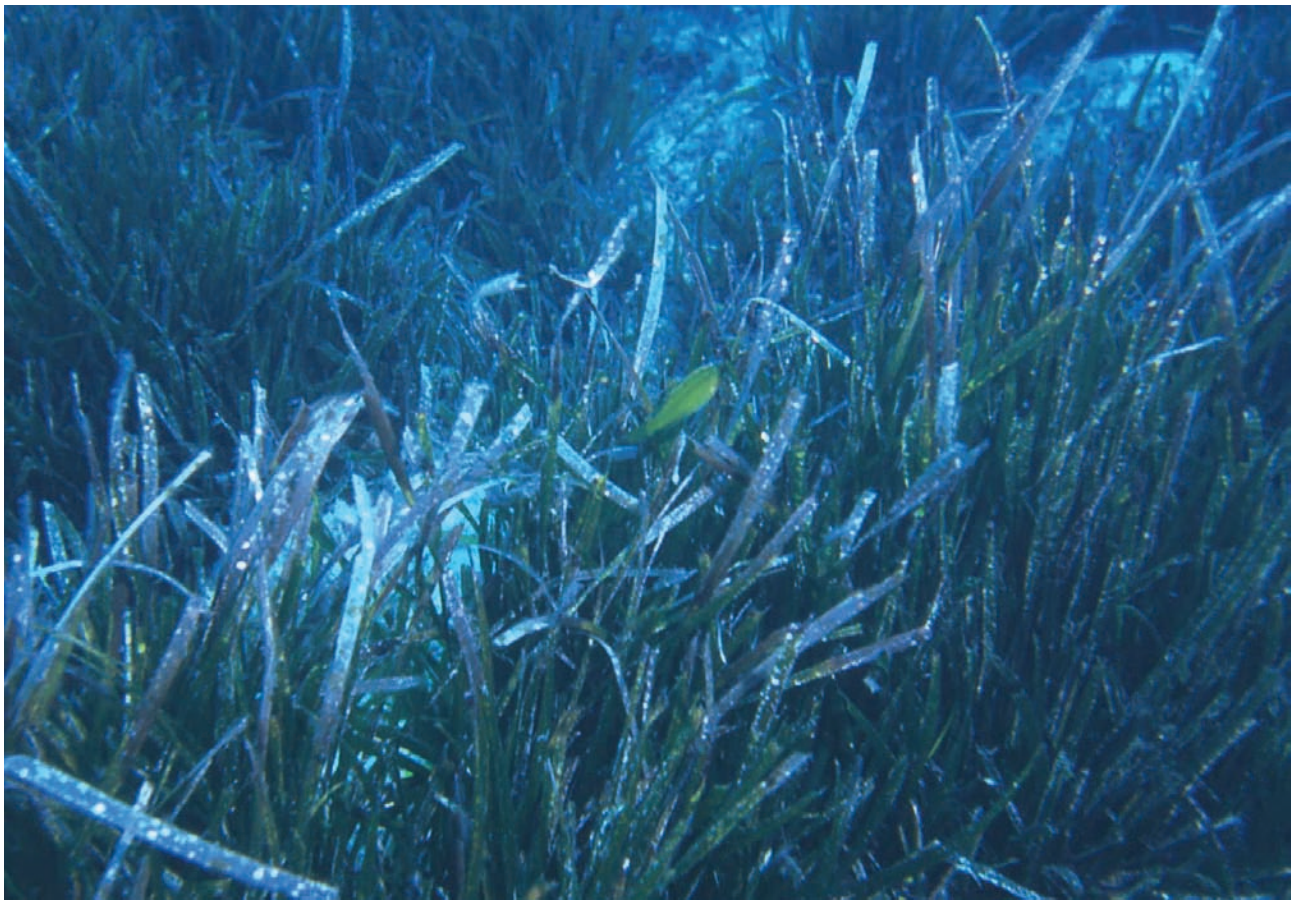


Fig. 2 - Prateria sottomarina della fanerogama *Posidonia oceanica*.

ambientale diversi da quelli legati all'abuso di pesca (inquinamento, infrastrutture marittime, ecc.), com'è appunto il caso del mare prospiciente la Maremma grossetana.

Il mare della Maremma grossetana

Nel contesto del Tirreno centrale, l'area marina prospiciente la Provincia di Grosseto puo' essere così delimitata: a nord il promontorio roccioso di Punta Ala; ad est l'ampia e movimentata fascia costiera interessata dalle piane alluvionali dei fiumi Bruna ed Ombrone e dai Monti dell'Uccellina; a sud l'Argentario con le lagune di Orbetello, dovute ai congiungimenti dell'Argentario stesso con la costa maremmana operati dai cordoni dunali, o "tomboli", di Giannella e di Feniglia; ad ovest le isole dell'Arcipelago Toscano. Soprattutto da un punto di vista batimetrico, l'area marina sopra delineata puo' essere vista come una sorta di ampio golfo aperto a Sud.

L'ecosistema di questo particolare areale marino corrisponde a quello tipico del Mediterraneo centro-settentrionale. Più in particolare, il tratto di mare compreso tra l'Argentario e la foce del Fiume Ombrone, idealmente chiuso ad Ovest dall'Isola del Giglio e dalle Formiche di Grosseto (Fig. 1), è caratterizzato da un'elevatissima biodiversità e sembra costituire non soltanto un'area privilegiata dai pesci per la loro riproduzione e crescita, ma anche un biòtopo accogliente per qualsiasi specie bentonica e nectonica del Mediterraneo. Nei suoi fondali sono infatti riconoscibili, con elevata contiguità, numerose biocenosi di primaria importanza, legate sia alle praterie a *Posidonia oceanica* (Fig. 2) che alle comunità tipiche dei substrati precoralligeni (Fig. 3), coralligeni e detritici di vario tipo. Nella sua parte occidentale, inoltre, esso si sovrappone al margine orientale del cosiddetto "Santuario dei Cetacei". Non è perciò senza buoni motivi, se il tratto tirrenico del quale parliamo è stato incluso fra le "aree marine di reperimento" considerate dalla legge n. 394/1991 come dotate dei requisiti per essere costituite in parchi marini.

La "ricchezza" del mare di questa zona nei decenni passati puo' essere ampiamente testimo-

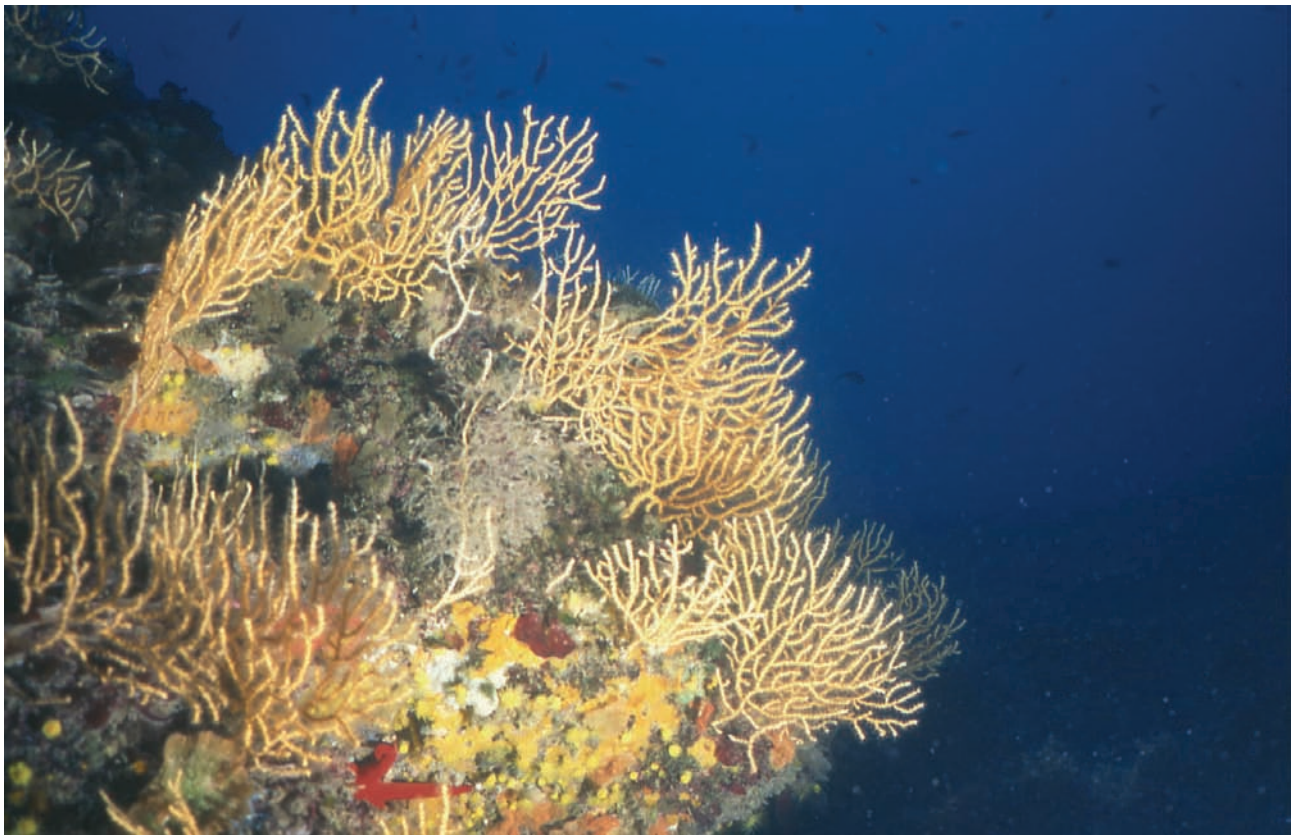


Fig. 3 – Habitat bentonico precoralligeno, con ramificazioni di spugne della famiglia axinellidi.

niata da tutti coloro che, come me, hanno osservato direttamente lo scandirsi regolare di eventi stagionali quali i "passi" delle specie pelagiche (ad esempio i tonnetti in agosto, le ricciole in settembre ed i calamari a fine novembre) e gli spettacoli legati alle fasi riproduttive (ad esempio il "montone" dei cefali varago e lustro nel periodo di Ognissanti).

Attualmente gli eventi come quelli esemplificati non si svolgono più con la stessa regolarità. E se fino ad oggi il peculiare contesto ecologico del mare della Maremma ha potuto continuare in gran parte a sussistere, ciò è stato solo grazie ad un insieme di contingenze storico-economiche della terraferma prospiciente, quali una urbanizzazione relativamente contenuta (per altro principalmente legata alla saltuaria fruizione turistica e massimamente concentrata a Porto S. Stefano), una industrializzazione quasi nulla ed un'agricoltura da tempo volta alle colture biologiche. D'altra parte, l'area marina di cui parliamo non è solcata da rotte commerciali, le quali rimangono oltre la barriera delle isole, ed è beneficiata da consistenti apporti di nutrienti dei fiumi Ombrone ed Albegna. Considerati nel loro insieme, questi elementi disegnano una situazione di basso degrado ambientale per inquinamento chimico o eutrofizzazione.

La politica ambientale della Provincia di Grosseto ha saggiamente portato alla costituzione del Parco Regionale della Maremma ed all'inserimento dell'Isola del Giglio e delle Formiche di Grosseto nel Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano. Almeno fino ad oggi, comunque, tale politica ha trascurato pressoché totalmente il patrimonio naturale marino, se non per quanto relativo a sporadiche campagne (peraltro dettate in gran parte da fattori emotivi) come quella contro le reti volanti ("spadare") o quella in favore della salvaguardia dei delfini.

Sorprendentemente, nonostante la formale adesione dell'Italia ai Protocolli Internazionali per la Protezione Ambientale del Mediterraneo (UNEP, 1999, 2002, 2004), neppure in ambito nazionale sembra esistere una politica di tutela e di gestione delle risorse marine, malgrado queste rappresentino una significativa fonte di reddito legata al turismo, alla nautica da diporto ed alla pesca. Anche autorevoli studi, come quelli condotti nell'ambito della Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 2000) e del Programma Ambiente dell'ONU (RAC/SPA, 2003), non hanno trascurato di denunciare tale carenza, individuando nel "sac-

cheggio" delle risorse uno dei principali fattori di degrado degli ecosistemi marini italiani. Ciò è talmente vero che ricercatori coinvolti dalla Comunità Europea si sono trovati nell'impossibilità di identificare, lungo il litorale a Sud di Livorno, un tratto di arenile non soggetto a pesca illegale (CRAM, 2000). Purtroppo, come sottolineato dal comunicato stampa del Consiglio Direttivo del Parco Regionale della Maremma dell'8.6.2005, questa attività criminosa è pesantemente esercitata anche nella zona antistante la Maremma grossetana, svolgendosi rigorosamente nelle ore notturne per meglio sottrarsi ai controlli.

Effetti distruttivi della pesca a strascico sul fondo

In Italia il 25% circa del pescato nazionale, con oltre il 30% del ricavo per la migliore qualità del prodotto, proviene dall'attività della "piccola pesca", largamente diffusa (coprendo essa oltre l'80% delle imbarcazioni e degli addetti) ed esercitata con metodi selettivi ecosostenibili. Quasi la metà del pescato nazionale, comunque, proviene dalla pesca a strascico sul fondo, da molto tempo riconosciuta come dannosa per l'ecosistema marino. Si pensi che già nel lontanissimo 1376, in Inghilterra, i pescatori dell'estuario del Tamigi chiedevano udienza al re Edoardo III per implorarlo di bandire la "nuova" pratica della pesca con reti a strascico sul fondo, in quanto la reputavano causa di "grande danno del bene comune e di distruzione della pesca".

La pesca a strascico sul fondo viene esercitata alla velocità di traino di 6-7 km/h utilizzando una rete che, nella posizione di pesca, si presenta con un'apertura di forma semicircolare larga fino a 20 m ed alta fino a 7 m, seguita da un sacco ad imbuto chiuso alla sua estremità. Il lembo di apertura inferiore della rete è denominato "lima" e consiste di una fune di materiale sintetico armata con un'imponente catena del peso complessivo di 45 tonnellate (Fig. 4). In fase di traino, il sacco è mantenuto aperto (Fig. 5) dalla portanza idrodinamica di una coppia di divergenti in acciaio il cui peso puo' raggiungere la tonnellata. La rete struscia sul fondale e lo "ara" con i divergenti (Fig. 6) e con l'armatura della lima, travolgendone e staccandone perciò tutti gli organismi epibionti ed endobionti per convogliarli nel sacco. Si stima che questa tecnica di pesca industriale implichi scarti anche di oltre il 40% del pescato, a fronte di quelli del 5-8% della piccola pesca. Gli scarti sono composti da organismi morti delle più svariate dimensioni e privi di valore commerciale, i quali vengono riversati in mare insieme agli accumuli di detrito e alla flora bentonica con essi raccolti. In termini globali, questo significa che ogni anno nel Mediterraneo vengono sconsideratamente distrutte, con enorme impoverimento della sua

Fig. 4 - Rete a strascico, con "lima" armata di catena a festoni.

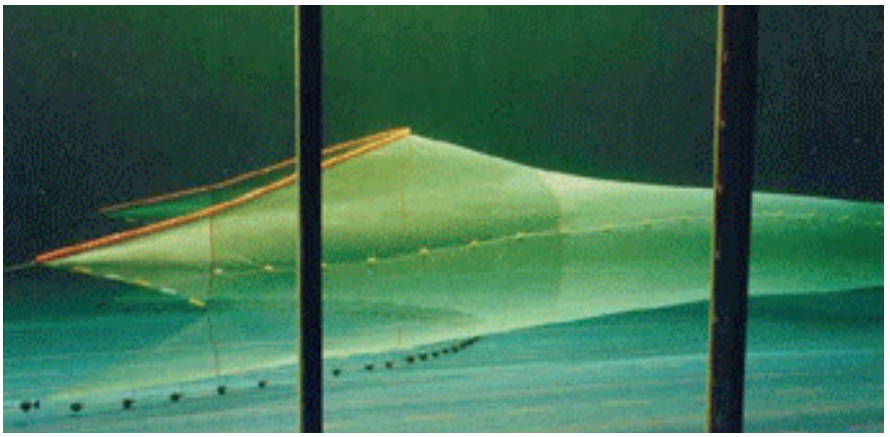


Fig. 5 - Modello di rete a strascico in prova entro un tunnel di flusso.

biodiversità, almeno 800.000 tonnellate di biomassa ittica, con 1.000 tonnellate relative alla sola area tirrenica della quale ci occupiamo.

Oltre che alla tipologia del fondale, l'entità del danno prodotto sulle biocenosi bentoniche dalle reti a strascico è strettamente correlato alla conformazione ed al peso di queste ultime. Si consideri che l'illegalità spesso inizia proprio dalla rete, per la quale le normative prescrivono i 40 mm quale misura minima per la dimensione delle maglie e quale misura massima per lo spessore della lima, cui la catena deve essere fissata in modo solido e continuativo. Di frequente, invece, le reti hanno maglie più fitte (per catturare anche i pesci più piccoli) e le loro lime superano il diametro prescritto recando catene installate a festoni (per aumentare lo sforzo di traino). Al fine di dare un'idea concreta dell'invasività di questa tecnica di pesca, si consideri che già alla profondità di alcune decine di metri il segno lasciato sul fondo dal passaggio di una rete a strascico permane rilevabile dagli strumenti "sonar" per oltre 6 mesi.

La pesca a strascico è consentita sui fondali argilloso-sabbiosi o argillosi del piano circalitorale, cioè all'esterno dell'isobata di 50 m (situata, nel caso del mare della Maremma, a circa 3 miglia dalla costa) e caratterizzati da una bassa coesione superficiale e da una vegetazione algale rarefatta. Qui la catena ed i divergenti della rete penetrano agevolmente nel sedimento provocando l'eradicazione completa della flora ed il rimescolamento dello strato superficiale, ovviamente distruggendo le biocenosi in esso presenti.

Tuttavia, come rilevano anche studi di organismi internazionali, la medesima tecnica di pesca rimane pratica corrente anche nei fondali del piano infralitorale, cioè situati a profondità inferiori ai 50 m, dove pure non è consentita. In questo piano, infatti, risiedono biocenosi a carattere eliofilo come quelle della prateria a *Posidonia oceanica*, fanerogama tipica dei substrati sabbiosi o sabbioso-argillosi, o del coralligeno ad alghe, spugne, gorgonie e briozoi tipico dei substrati duri più o meno coerenti. Sulle praterie a *Posidonia*, che formano l'habitat di riferimento per la riproduzione e la crescita di innumerevoli specie ittiche pelagiche e costiere, oltre che quello di vita per una grandissima varietà di specie endemiche, la pratica della pesca a strascico determina il completo sradicamento delle piante (Figg. 7-8). Il passaggio dei divergenti e dell'armatura della rete sul fondale determina l'asporto

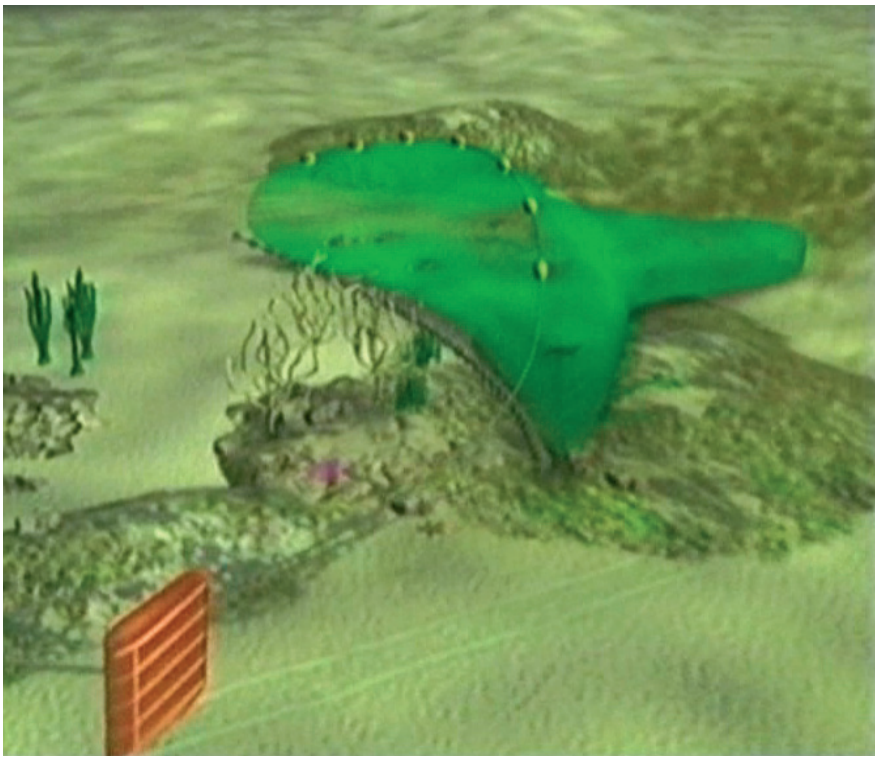


Fig. 6 – Simulazione di pesca a strascico sul fondo, con in primo piano uno dei due divergenti.

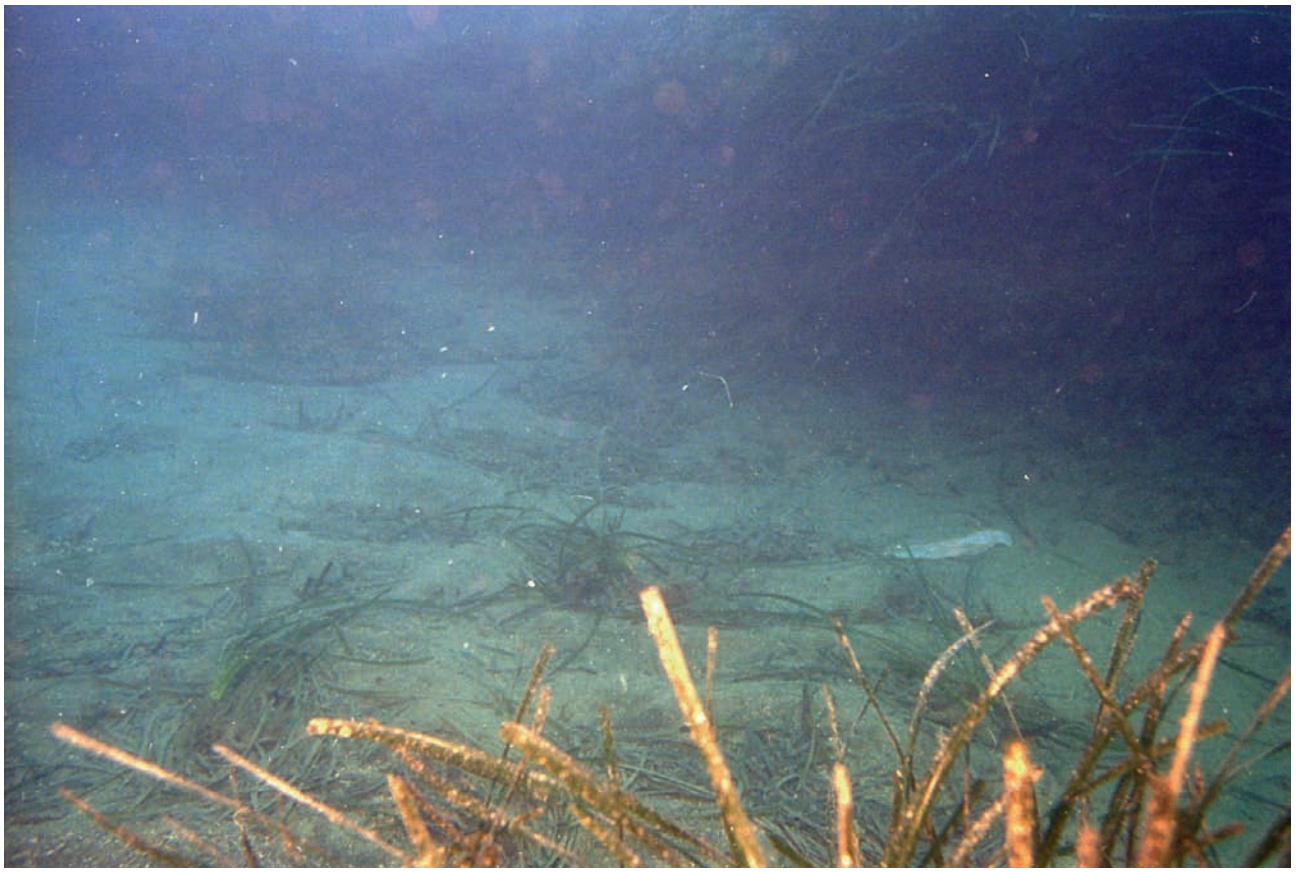


Fig. 7 - Effetto di deforestazione della prateria a *Posidonia*.

di ogni forma di vita sviluppatasi su di esso (epibionte) e addirittura lo sconvolgimento e la distruzione dei livelli superficiali del substrato con qualsiasi animale in essi contenuto (endobionte), ricoprendo poi il tutto con un sudario di limo.

Va tenuto presente che le praterie a *Posidonia* sono protette da accordi internazionali, in quanto considerate relative forse alla più importante tra le biocenosi del Mediterraneo. Gli agglomerati radicali di questa fanerogama marina, infatti, stabilizzano i sedimenti dei fondali; al medesimo tempo, la sua caratteristica ed allungatissima struttura fogliare, oltre a costituire un rifugio per gli organismi, e quindi anche un centro di accumulo di biodiversità (accogliendo circa il 20% delle specie mediterranee), agisce come smorzatore dei movimenti delle onde. Si ritiene che lungo gli arenili la perdita della fascia di 1 metro di prateria a *Posidonia* possa condurre fino a 15-18 m di erosione della spiaggia. E in effetti la progressiva erosione, di circa 50 m, verificatasi lungo il litorale alla foce del Fiume Ombrone nell'arco dell'ultimo mezzo secolo, sembra essere dovuta essenzialmente alla perdita quasi totale della antistante prateria a *Posidonia*.

Un importante studio di Watling & Norse (1999) compara il danno della pesca a strascico con quello prodotto sulla terraferma dal disboscamento legato agli incendi o allo sfruttamento incontrollato delle foreste primarie, concludendone che le analogie sono drammaticamente elevate dal punto di vista del danno ecologico. Va comunque rimarcato che la superficie di fondale marino "spazzata" ogni anno dalla pesca a strascico interessa dal 20 al 60% della piattaforma continentale ed è perciò superiore di ben 150 volte a quella di foresta perduta sui continenti (Watling & Norse, 1999).

Fra i centri portuali della Toscana che ospitano imbarcazioni attrezzate per la pesca a strascico, Porto S. Stefano figura al secondo posto in ordine di importanza ed al primo posto per la quantità di pescato (RT, 2002, 2004). D'altra parte, è opinione diffusa tra i piccoli pescatori locali che nell'area compresa tra l'Argentario e la foce dell'Ombrone, a fronte cioè di 120 km^2 di fascia infralitorale, vi siano almeno 6 imbarcazioni che durante le ore notturne praticano illegalmente la pesca a strascico. Anche nell'ipotesi che venga eseguita soltanto una "calata" di un'ora al giorno, esse finiranno per

Fig. 8 – Ancora un immagine con effetto di deforestazione della prateria a *Posidonia*.

"arare" ogni anno più di 140 km^2 di fondale: ovvero più di una volta all'anno tutto il fondale compreso tra i 10 e i 50 m di profondità.

Perché il saccheggio e lo scempio non vengono impediti?

Questo drammatico stato di cose ha suscitato un oggettivo fermento in seno alle organizzazioni ambientaliste ed alle istituzioni internazionali, con il fine sia di contenere la pesca a strascico a profondità superiori ai 1.000 m, sia di proibirla in modo tassativo in ambienti di particolare rilievo quali le barriere coralline. Purtroppo, però, a questo pregevole sforzo non corrisponde un impegno altrettanto deciso a far sì che le normative di protezione già esistenti vengano concretamente applicate e rispettate.

Nella sua sostanza, dunque, il punto della situazione sembra essere il seguente. Malgrado per gli ecosistemi marini bentonici il tempo di ripristino risulti di un ordine non superiore agli anni o ai decenni (a differenza di quello delle foreste, che puo' comportare anche centinaia di anni), a tutt'oggi non sembra esserci la volontà di operare effettivamente tale ripristino. D'altra parte, va anche detto che attualmente sono presenti nel Mediterraneo specie vegetali alloctone del genere *Caulerpa* (come *C. taxifolia* e *C. racemosa*), la cui competitività e velocità di insediamento nei confronti di *Posidonia* rendono problematica qualunque possibilità di ripristino ambientale che non poggi su precisi e determinati interventi umani.

Coloro che come noi, nella veste di "piccoli pescatori", amano profondamente il mare e lo considerano la propria principale fonte di vita, non hanno mai cessato di credere che sia possibile evitarne il saccheggio e lo scempio. Anche in futuro, pertanto, essi non potranno che continuare a tenere alta la guardia e a sperare che i loro incessanti proclami ed avvertimenti – malgrado abbiano sempre trovato spazi molto limitati nei *media* nazionali ed anzi siano stati spesso tagliati *tout court* dalle interviste per i programmi televisivi sulla pesca e sul turismo marini – servano a produrre prima o poi qualche effetto positivo. Per noi questo impegno ebbe inizio verso la metà degli anni '80, allor-

ché avanzammo ripetute richieste di intervento e di normative adeguate presso le autorità preposte alla vigilanza, alle istituzioni politiche ed alla magistratura (Mustacchi, 1991; Stipa, 1996; Ferrazza, 1997), organizzando al medesimo tempo pubbliche manifestazioni e scrivendo decine di articoli per la stampa locale e nazionale. Ricorderemo qui, tra le altre iniziative: la petizione alle autorità del gennaio 1988; il blocco di Porto S. Stefano del 24 aprile 1990, effettuato insieme alle associazioni ambientaliste; la petizione al Ministro competente del novembre 1992; l'istituzione, sempre nel 1992, del "pescaturismo", quale attività finalizzata a combinare gli aspetti ricreativi dell'escursione turistica con quelli della didattica e dell'educazione all'ambiente. Nel 1994, dopo innumerevoli denunce, venne finalmente promulgata una regolamentazione della pesca a strascico, in particolare per quanto concerneva le reti utilizzabili, e a seguito di ciò il nostro impegno è stato costantemente rivolto ad ottenere l'applicazione della legge, purtroppo negli ultimi anni resa inefficace dalla depenalizzazione del reato di pesca illegale a semplice infrazione amministrativa.

In tutti questi anni abbiamo riscontrato una notevole sensibilità ai danni che vengono inflitti al mare, sia nei molti turisti che sono stati a bordo del nostro motopeschereccio, sia negli alunni delle scuole che ci hanno coinvolto in molteplici iniziative didattiche, sia nel Corpo delle Capitanerie di Porto. Quest'ultimo, comunque, malgrado gli sforzi nei quali più volte si è prodigato, non ha né le risorse per effettuare un'azione continuativa di controllo, né il mandato per applicare la legislazione contro la pesca illegale (da cui la bassa incidenza di rilievi di infrazione, sulla quale le organizzazioni della pesca industriale non mancano, com'è ovvio, di far leva per sostenere l'irrilevanza del problema). Per parte loro, le forze dell'ordine hanno a disposizione strumenti punitivi tutt'altro che adeguati: basti pensare che la multa comminata all'imbarcazione colta nell'esercizio illegale della pesca è di soli 1.000 euro, mentre il valore del pescato per ogni "calata" passata franca ammonta a migliaia di euro. Al medesimo tempo, non esiste alcuna forma di controllo e di repressione annonaria per la commercializzazione di specie che non potrebbero essere pescate con il metodo dello strascico, in quanto incapaci di vivere alle profondità autorizzate per questo tipo di pesca; mentre questi interventi risulterebbero molto più efficaci e semplici da mettere in atto, rispetto al controllo in mare. Infine, si consideri che in Italia è vietato l'uso di reti illegali, ma non il loro possesso e nemmeno il loro trasporto a bordo delle imbarcazioni da pesca, rendendo di fatto impossibile qualsiasi efficace misura preventiva.

Negli ultimi anni la Regione Toscana ha progressivamente preso coscienza delle problematiche ambientali del mare, con una serie di iniziative che nel 2004 sono culminate nella *Relazione sullo stato dell'ambiente marino e costiero* (RT, 2004) e nell'attivazione, anche a mezzo dell'ARPAT regionale, di una seria progettualità per interventi di protezione dalla pesca illegale per la fascia infralitorale e di supporto per il ripopolamento ittico. Questi interventi, comunque, attendono tuttora di essere realizzati; per cui il mare della Maremma rimane privo di difesa. Un primo progetto di installazione di dispositivi dissuasori, seppure in numero non sufficiente a fermare il fenomeno, è stato appaltato dall'ARPAT e si spera che venga presto realizzato. Parallelamente, un progetto di intervento finanziato dalla Regione Toscana e gestito dall'Amministrazione Provinciale di Grosseto, nel quale sono previste sia barriere di ripopolamento (Fig. 9) che dissuasori, sembra essere in dirittura di arrivo. La prospettiva peggiore è che l'impegno pubblico si fermi a questi interventi, anziché procedere immediatamente (seguendo in ciò l'esempio di quanto è stato fatto nel Lazio lungo il litorale di S. Marinella) al ripristino in tempi rapidi (cioè prima che vi si insedino specie alloctone come *Caulerpa taxifolia*), ad esempio lungo la fascia infralitorale di Alberese, della prateria a *Posidonia*.

Il turista nautico, sia egli pescatore dilettante o semplice appassionato, è sempre meno attratto da un mare in cui langue la vita, preferendogli altre mete. Per parte sua, il turista balneare trova strutture di ristorazione sempre più costrette ad offrire prodotti ittici di allevamento o di importazione, con grande diminuzione della qualità offerta agli avventori e dell'immagine turistica

Fig. 9 – Impianto di germoglio di *Posidonia oceanica* per il ripristino della sua biocenosi.

della regione. Come si è visto, gli strumenti per invertire l'attuale processo di degrado ambientale e per riservare al mare un futuro sostenibile, sicuramente esistono. Ma la domanda resta: perché è tanto faticoso e difficile utilizzarli?

Il riconoscimento del danno ambientale e dei suoi riflessi sul piano socio-economico è ormai divenuto ampiamente diffuso. Tutti sanno ormai da molti anni che è necessario controllare la caccia ed impedire la distruzione dei boschi. Ma in fondo al mare, dove nessuno vede, si sta compiendo un ecocidio del quale soltanto pochi sono pienamente consapevoli. Eppure non è necessario essere esperti: basta soltanto un po' d'attenzione per constatare come oggi molte specie di pesci preferiscano vivere nei porti ed alle foci dei fiumi, cioè in ambienti più inquinati e disturbati dalla presenza umana, anziché nei loro habitat di mare aperto originari. Evidentemente, se ciò avviene è perché questi ultimi sono stati sconvolti e distrutti. Del resto è accaduto lo stesso con non poche specie di uccelli, che oggi, diversamente dal passato, preferiscono vivere solo nelle città.

Come la caccia, anche la pesca non può essere un'attività meramente predatoria. Le risorse naturali vanno "coltivate" e gestite con la medesima saggezza e previdenza del padre che ama realmente i propri figli e che perciò costantemente si preoccupa di assicurare loro condizioni di vita anche migliori delle proprie.

Si ringraziano sentitamente per la loro collaborazione l'Ing. Lucio Sabbadini e il Dr. Brando Borghi.

Testi citati

ARPAT (2004) - *Valutazione della pesca e dell'acquacoltura (in mare)*, Centro Tematico Nazionale "Acque Interne e Marino Costiere". Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, Firenze.
<www.sinanet.apat.it/site/_contentfiles/00037000/37084_AIM_T_RAP_03_09_pesca.pdf>

EEA (2000) - *Stato e pressioni sull'ambiente marino e costiero del Mediterraneo*. Agenzia Europea dell'Ambiente. Copenhagen.
<http://reports.it.eea.eu.int/medsea/it/index_html_local>

FAO (2002) - *The state of world fisheries and acquaculture*. Food and Agricoltural Organization of the United Nations Fisheries Department. Roma. <www.fao.org/sof/sofia/index_en.htm>

FAO (2004) - *The state of world fisheries and acquaculture*. Food and Agricoltural Organization of the United Nations Fisheries Department. Roma. <www.fao.org/sof/sofia/index_en.htm>

FAO (2005) - *Impacts of trawling and scallop dredging on benthic habitats and communities*. Food and Agricoltural Organization of the United Nations Fisheries Department. Roma. <www.fao.org/icatalog/search/dett.asp?aries_id=106378>

Ferrazza P. (1997) - *L'entità del danno causato dall'attività di pesca a strascico in fondali inferiori ai 50 metri in cui è presente la prateria di* Posidonia. Pretura circondariale di Grosseto. Grosseto.

GFCM (2004) - *Ecosystem effects of fishing in the Mediterranean: an analysis of the major threats of fishing gear and practices to biodiversity and marine habitats*. General Fisheries Commission for the Mediterranean FAO. Roma. <www.fao.org/docrep/007/y5594e/y5594e00.htm>

ICRAM (2000) - *Impact of trawl fishing on benthic communities*. ICRAM. Roma. <www.icram.org/webchioggia/strascico/strascico.htm>

Mustacchi C. (1991) - *Perizia tecnica sugli effetti della pesca a strascico*. Pretura circondariale di Grosseto. Grosseto.

NRC-CEEF (2002) - *Effects of trawling and dredging on seafloor habitat: Phase 1 – Effects of bottom trawling on seafloor habitats*. Committee on Ecosystem Effects Fishing of the Ocean Studies Board (Division on Earth and Life Studies of the National Research Council - US). Washington DC. <www.nap.edu/books/0309083400/html>

RAC/SPA (2003) - *Effects of fishing practices on the Mediterranean sea: Impact on marine sensitive habitats and species, technical solution and recommendations*. Project for the preparation of a Strategic Action Plan for the conservation of biological diversity in the Mediterranean Region. Regional Activity Centre for Specially Protected Areas. Tunisi. <www.sapbio.net/download/impact/Effects%20of%20fishing%20practices.pdf>

RT (2002) – *Segnali Ambientali in Toscana*. Direzione Generale Politiche territoriali e ambientali Regione Toscana. Firenze. <www.rete.toscana.it/sett/pta/stato_ambiente/segnali_ambientali/2002/index.htm>

RT (2004) – *Segnali Ambientali in Toscana 2004: Relazione sullo stato dell'ambiente marino e costiero*. Direzione Generale Politiche territoriali e ambientali Regione Toscana. Firenze. <www.rete.toscana.it/sett/pta/stato_ambiente/segnali_ambientali/2004/segnali_2004_intero.pdf>

Stipa P. (1996) – *Perizia tecnica sullo stato del fondale marino usualmente interessato dal fenomeno della pesca a strascico abusiva*. Pretura circondariale di Grosseto. Grosseto.

UNEP (1999) – *Action plan for the conservation of marine vegetation in the Mediterranean sea*. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan. Regional Activity Centre for Specially Protected Areas. Tunisi. <www.rac-spa.org/down/AP_VEG_FR.pdf>

UNEP (2002) - *Safeguarding mediterranean biodiversity*. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan e Regional Activity Centre for Specially Protected Areas. Tunisi.

UNEP (2004) - *Strategic action programme for the conservation of biological diversity in the Mediterranean region*. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan e Regional Activity Centre for Specially Protected Areas. Tunisi. <www.sapbio.net/download/SAP/SAP%20BIO%20REV.pdf>

Watling L. & Norse E. A. (1999) - *Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: a comparison with forest clear-cutting*. Walpole ME. <www.mcbi.org/destructive/Disturbance%20Watling%20Norse.pdf>

WRI-UN (2005) – *United Nations Millennium Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. World Resources Institute. Washington DC. <www.millenniumassessment.org/proxy/Document.356.aspx>

Radicondoli: un paese che incontra la geotermia

Luciano Cillerai
Comune di Radicondoli
Via Tiberio Gazzei, 80 – 53030 Radicondoli (Siena)

Radicondoli conta circa mille abitanti e sorge sulle Colline Metallifere alla sommità di Poggio S. Cerbone (510 m s.l.m.). Da questo colle, il paese si affaccia su una splendida campagna senese, tra Val d'Elsa, Val di Cecina e Val di Merse. Oltre a coperture boschive, il paesaggio, ameno e collinare, presenta una trama di case coloniche con appezzamenti agricoli ad olivi e vigneti. Il Fiume Cecina disegna a valle un percorso armonioso e selvaggio non privo di "piscine" con acque freschissime. Nel paese, di origine medioevale (secolo XII), sono ancora visibili tracce longobarde legate al fitto incastellamento che nei secoli coinvolse anche Belforte, Elci, Montingegnoli, Falsino e Fosini. Conserva resti di fortificazioni, la Porta Olla e un pittoresco tessuto viario a strade e vicoli gradinati, sul quale si affacciano case-torri dai portali a sesto acuto. Qua e là sono presenti anche palazzetti e chiese rinascimentali. Nella cinquecentesca Collegiata, munita di un alto campanile, sono conservate preziose opere di pittori senesi. Appena fuori dal paese si trova la Pieve Vecchia della Madonna (secolo XI), costruzione romanica del tipo a croce latina con transetto, con facciata bicroma a fasce di conci e mattoni di chiaro gusto pisano.

Se durante il medioevo l'economia di Radicondoli era soprattutto caratterizzata dall'intraprendenza della Corporazione dell'Arte della Lana, attualmente essa riposa in gran parte sulla geotermia, ovvero sullo sfruttamento del calore endogeno per la produzione di energia elettrica e per altri usi (riscaldamento delle abitazioni, attività agricole, attività artigianali). La politica economica di un paese "geotermico" non puo', dunque, né trascurare di favorire la produzione e l'utilizzo di energie rinnovabili né disattendere i principi di sostenibilità del territorio.

La Regione Toscana, nel rispetto della vocazione ambientale del proprio territorio, vuole divenire esempio di sviluppo sostenibile e volano di politiche energetiche che sappiano prendere in considerazione anche le fonti di energia "rinnovabile": termine col quale solitamente intendiamo le fonti naturali rappresentate da acqua (energia idroelettrica), Sole (energia solare), vento

Fig. 1 – Veduta panoramica del Poggio S. Cerbone con il paese di Radicondoli.

Fig. 2 – Panoramica della centrale unificata 20 Mwatt "Arancia 2".

(energia eolica), materiali organici (energia da biomassa) e vapore endogeno (energia geotermica). In questa prospettiva, la Regione è impegnata a creare un legame fra nuove tecnologie (sia nella fase progettuale che di utilizzazione delle medesime) ed ambiente, che produca un rapporto rinnovato tra uomo e natura e che si traduca nella valorizzazione sociale ed economica del territorio.

Il Comune di Radicondoli (Fig. 1) si trova in piena armonia con le strategie espresse in merito dalla Regione Toscana soprattutto per quanto concerne le risorse geotermiche del suo territorio, cioè connesse con lo sfruttamento del calore che proviene dalle viscere della Terra (a questo proposito si ricorda che l'impostazione della geotermia nel senso moderno ebbe inizio il 4 luglio 1904, allorché il Principe Piero Ginori Conti, utilizzò il vapore endogeno per alimentare una dinamo e generare energia elettrica sufficiente a fare illuminare cinque lampadine). Queste risorse, infatti, costituiscono la principale fonte di ricchezza del Comune, interessando non soltanto la produzione di energia elettrica, ma anche il riscaldamento delle abitazioni e varie attività economiche (Figg. 2, 3). Pertanto l'Amministrazione comunale richiama l'attenzione sulla perforazione di nuovi pozzi, sul ripristino di alcune centrali e sull'impatto ambientale degli impianti geotermici: opere, queste, che devono essere realizzate in piena sintonia con uno sviluppo territoriale armonico e rispettoso delle esigenze naturali e sociali.

Affinché il territorio comunale di Radicondoli, unitamente agli altri territori dotati di risorse geotermiche, divenga sempre più importante per la produzione di energia elettrica e per i vari utilizzi del vapore endogeno, occorre che fra le Amministrazioni comunali e il gruppo ENEL si crei un'atmosfera di "simpatia" nel significato originario di questo termine, che era quello di *immedesimarsi nella realtà dell'altro* in modo da trovare punti d'incontro. Purtroppo, infatti, negli anni passati le relazioni fra gli Enti locali e l'ENEL sono risultate non sempre facili e chiare (per meglio comprendere, si ricorda che nel trentennio 1962-1992 il gruppo ENEL ha dovuto fronteggiare numerose difficoltà legate prima alla fase di nazionalizzazione e poi a quella di privatizzazione) e solo in tempi recenti vi è stata un'inversione di rotta che lascia intravedere un rapporto rinnovato fra i due soggetti.

Per far luce su questo rinnovato rapporto, si mette in evidenza che la legge 359 del 1992, la quale trasformava in S.p.A. il sistema aziendale ENEL, faceva nascere tutta una serie di nuove esigenze, quali: il chiarimento dei compiti dell'ente; la separazione fra le competenze dello Stato e quelle dell'ente (ove il primo è chiamato a far rilevare il proprio indirizzo pur nel rispetto del comportamento decisionale del soggetto aziendale); il processo di rafforzamento della capacità produttiva; un mercato di offerta più competitivo; il rispetto dell'ambiente. In tal modo, l'ENEL è divenuto sempre più un soggetto ad elevata imprenditorialità e con minori vincoli legislativi, sebbene alcune strategie di investimento, di approvvigionamento di prodotti energetici e di politica tariffaria debbano essere decise dal Parlamento.

Del resto le logiche legate alla necessità di salvaguardare l'ambiente hanno cominciato a trovare generale attenzione nelle strategie aziendali, per cui ne risultano coinvolti i loro aspetti gestionali, di

Fig. 3 – Postazione del pozzo "Radicondoli 5".

comunicazione e perfino di contabilità. L'azienda diviene un sistema aperto che accetta relazioni di scambio e apporto di idee da parte di altri soggetti e che coniuga nel proprio contesto l'efficienza economica con la responsabilità sociale. In altre parole, si assiste ad una nuova configurazione d'azienda, l'operatività della quale risulta in equilibrio tra le aspettative dei vari *stakeholders* (centri d'interesse riguardanti l'attività aziendale) ed i vincoli derivanti dal rispetto delle normative giuridiche.

Per tornare alle risorse geotermiche, alcuni dati complessivi provenienti da Comuni talvolta di piccole dimensioni rivestono un ruolo importante per la Regione Toscana e per l'economia nazionale. Questi dati attestano che la geotermia soddisfa il 27% dell'intero fabbisogno energetico della Toscana con una produzione di energia pari a 5 milioni di Kwh e che il teleriscaldamento geotermico soddisfa 8.700 utenze domestiche e 26 ettari di serre per floricoltura, orticoltura e vivaismo.

Relativamente all'impostazione di attività di esplorazione e di perforazione, è opportuno riconoscere che le moderne tecnologie, e in particolare quelle note come AMIS (riduzione dell'emissione di idrogeno solforato, con conseguente miglioramento qualitativo dell'aria), hanno consentito un progresso nel percorso della salvaguardia ambientale. Su questo percorso si ritrova anche la rinnovata funzione dell'Amministrazione comunale di Radicondoli e di altri Enti locali, che non riguarda soltanto la prestazione di servizi pubblici secondo criteri di efficienza, efficacia ed economicità, ma si arricchisce del ruolo di garante delle politiche ambientali sostenibili e condivise che coinvolgono i territori. Il cammino intrapreso in questo senso è certamente lento, duro e faticoso; ma i risultati delle azioni di recupero e di mantenimento ambientale, ripagheranno ampiamente lo sforzo effettuato in vista di una migliore qualità di vita da consegnare alle future generazioni.

Questo fatto porta nuovamente a sottolineare l'importanza dell'utilizzo delle risorse rinnovabili, comprese quelle geotermiche, per le quali si sta passando da una strategia di sfruttamento a quella di una coltivazione sostenibile, legando ambiente e territorio, risorsa energetica e comunità locale.

Ophrys holoserica (L.N. Burman) Greuter
Foto "Il Graffio", Follonica

“Dalla cava alla brocca”: un progetto ludico-scientifico sulla cottura della ceramica con mezzi di fortuna (campagne di lavoro 1995-2000)

Michele Gregorkiewitz, Sonia Mugnaini**, Barbara Anselmi****
*Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina, 8 – 53100 Siena
**Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Ambientali “G. Sarfatti”, Sezione di Geochimica Ambientale e Conservazione del Patrimonio Culturale Lapideo, Via Laterina, 8 – 53100 Siena
***Via Guido Rossa, 4 – 53016 Vescovado di Murlo (Siena)

Introduzione

Il progetto “Dalla Cava alla Brocca” nacque verso la fine del 1995 da un esiguo gruppo di persone provenienti da ambiti assai diversi, ma interessate a vario titolo ai molteplici aspetti che possono riguardare il mondo della ceramica. In particolare, l’idea che sta alla base del progetto è quella della realizzazione di oggetti in ceramica facendo uso pressoché esclusivo di materiali di fortuna, ripercorrendo cioè tappe e problematiche analoghe a quelle di culture primitive (antiche o odierne) dedite a questa attività: dalla raccolta delle materie prime, alla foggiatura di oggetti, alla realizzazione di forni per la cottura.

La diversità delle competenze coinvolte ha fatto sí che si instaurasse fin dall’inizio un proficuo scambio di conoscenze tra coloro che, di volta in volta, hanno partecipato agli incontri informali che hanno dato vita al progetto: gli argomenti di discussione hanno cosí spaziato dagli aspetti prettamente pratici sulla lavorazione dell’argilla fino alle basi scientifiche su impasti, reazioni chimiche e transizioni mineralogiche che avvengono durante la cottura.

La prima esperienza del dicembre 1995 è stata seguita da varie altre, con crescente partecipazione di appassionati e anche di archeologi. Questi ultimi risultavano particolarmente interessati alla riproduzione di forni d’epoca per le loro ricerche relative alla fabbricazione di ceramiche nell’antichità. In questo articolo sono riportate le attività sperimentali svolte nell’ambito delle campagne di lavoro effettuate dal dicembre 1995 fino al luglio 2000.

La prima campagna di lavoro (dicembre 1995)

Questa è iniziata con un incontro nel laboratorio di una ceramista professionista (Rosalba Maremmi), dove i partecipanti hanno foggiato alcuni oggetti di piccole dimensioni apprendendo le tecniche di lavorazione piú semplici, come ad esempio quella del colombino (Fig. 1), e ricorrendo ad un’argilla grigia reperibile in commercio ed usata per la realizzazione di opere in terracotta. I prodotti sono stati messi sul termosifone per accelerarne l’essiccazione, in attesa della cot-

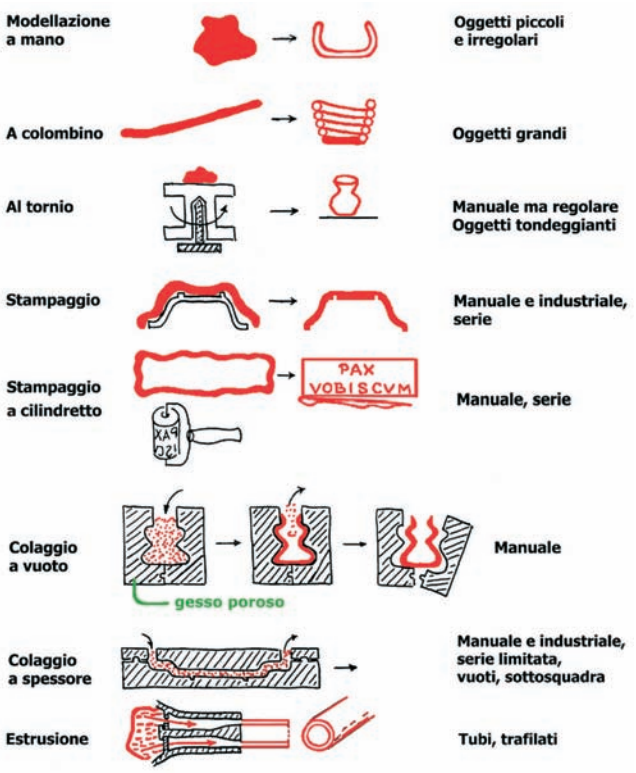


Fig. 1 - Le principali tecniche di lavorazione dell’argilla per la realizzazione di oggetti in ceramica.

tura da eseguirsi l'indomani.

Il giorno seguente le attività si sono spostate all'aperto, in una dismessa cava per inerti vicino ad Asciano (SI). Questa località, scelta anche per le esperienze successive, offre tutto il necessario per l'intero ciclo produttivo di un'industria primitiva della ceramica. Vi è, infatti, abbondanza di pietrame per la costruzione di una fornace, di argilla ferrifera e di acqua di falda; inoltre, vi è adiacente un bosco di pini e lecci da cui ricavare legna e sufficiente spazio senza vegetazione per evitare il rischio di incendi. Per non perdere tempo (le giornate di dicembre sono brevissime), i partecipanti si sono divisi in gruppi con il compito di raccogliere argilla (Fig. 2), pietre di varia forma e dimensione e legna da ardere.

Fig. 2 - Raccolta di argilla rossa naturale in una cava vicino ad Asciano.

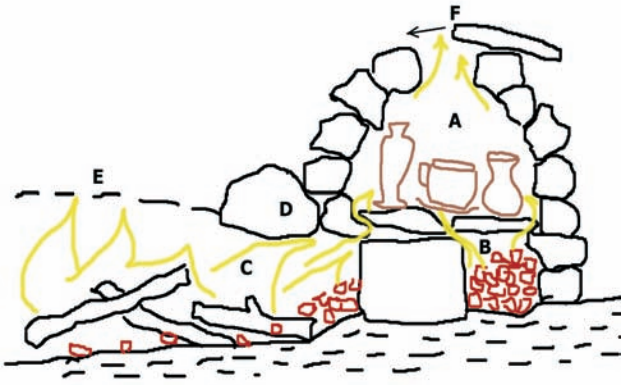


Fig. 3 - Sezione di fornace bicamera a fondo inclinato e con sfiato in alto. A - camera di cottura, B - camera di combustione, C - prefurnio, D - architrave, E - confinamento laterale della parte aperta del prefurnio, F - coperchio.

Per la costruzione della fornace sono stati consultati alcuni testi con dati e modelli dei forni piú primitivi (Caruso, 1989; Redinha, 1975; Rhodes, 1976). È stato deciso di adottare il modello della fornace bicamera (Fig. 3), che permette di gestire la combustione in una camera separata (detta *focolare* o *cinerario*) senza che il vasellame venga a diretto contatto con il legname e la brace o rischi di essere investito con qualche arnese durante le operazioni di carica e discarica.

In particolare, imitando certi modelli ancora in uso nell'estremo Oriente (dove già attorno al 1000 avanti Cristo, ovvero molto prima che in Europa, i ceramisti erano riusciti ad ottenere porcellana: il che richiede temperature altissime), la costruzione del forno è stata disposta su un piano inclinato per abbassare la prima parte del focolare (detta anche *prefurnio*) ed assicurare così un migliore tiraggio. Sebbene tali forni fossero normalmente abbinati ad una specie di "fuoco rovesciato" (cfr. le campagne successive), in questa prima esperienza è stata realizzata una semplice cupola con un foro nella sommità, da chiudere con un apposito coperchio.

Nelle figure 4 e 5 è visibile il procedere del lavoro, cioè le realizzazioni della base, del piano di separazione tra le camere di combustione e cottura e, infine, della volta con il foro sommitale. Oltre che su qualche sasso opportunamente spor-

Fig. 4 - Prima fase di costruzione della fornace bicamera fino al piano che copre il cinerario.

Fig. 5 - Innalzamento della cupola.

gente dal muro, il piano di separazione (consistente in varie lastre di arenaria e di diaspro) poggia su un sostegno posto al centro del cinerario, ben incastrato fra la terra e l'architrave che regge la cupola all'entrata dal prefurnio. Ovviamente, la robustezza della struttura in questo punto è fondamentale al fine di evitare, nelle operazioni di carico e scarico del cinerario, un crollo del ripiano con sopra gli oggetti da cuocere.

Dalle immagini mostrate (Figg. 4, 5, 8) si può osservare che, con la sua parte esterna, il prefurnio ha un'area circa 3 volte piú grande della camera di combustione vera e propria. Ciò per due motivi principali: 1) perché la legna fresca è senz'altro piú ingombrante della brace che ne deriva; 2) perché in una fornace a tiraggio è molto importante riscaldare l'aria (circa l'80% di questa, infatti, consiste di azoto che, non partecipando alla combustione e quindi non generando calore, tende a raffreddare il vasellame). Sempre per evitare una dispersione incontrollata del calore, tutta la struttura è stata accuratamente stuccata con argilla (Fig. 6). Solo sul lato opposto al prefurnio e a livello del suolo, si è fatto in modo che una grossa pietra di forma prismatica (non visibile nelle immagini) restasse facilmente estraibile (pur non lasciando spiragli aperti quando ben alloggiata) al fine di dare accesso diretto alla camera di combustione per eventuali interventi d'emergenza e di areazione.

Fig. 6 - Stuccatura con argilla.

Circa quattro ore dopo l'inizio delle attività è finalmente arrivato il momento di accendere il fuoco. Per questa operazione è stata utilizzata prevalentemente legna di pino piuttosto secca e in forma di rami e tronchetti (fino a un diametro di circa 15 cm). In un primo momento si è seguita l'accortezza di bruciare poca legna, spingendola poco a poco sotto il ripiano; ciò per far salire con estrema gradualità la temperatura del forno, ancora vuoto e aperto, e per consentire l'evaporazione dell'acqua che impregnava l'argilla usata per stuccare i vuoti della muratura.

Fig. 7 - Inizio del fuoco con aumento graduale della temperatura ("piccolo fuoco").

Il tiraggio si è subito dimostrato molto efficace (Fig. 7). Il fumo che usciva dalla sommità della struttura era talmente carico di vapore acqueo che, avvicinandovi la mano, questa rimaneva bagnata. Queste semplici osservazioni sono importanti poiché consentono al ceramista di capire quando la disidratazione del vasellame è comple-

Fig. 8 - Verso il "grande fuoco" a camera di cottura chiusa.

ta, in modo da aumentare il fuoco e procedere alla vera e propria fase di cottura ceramica che avviene ad 800-950°C.

Una volta comprovata la stabilità della struttura all'aumentare della temperatura, il fuoco è stato moderato al fine di introdurre i crudi nella camera di cottura. Collocati questi ultimi, si è nuovamente tornati al regime di "piccolo fuoco" per disidratare i crudi. Ciò ha comportato un ritardo di un paio d'ore, per cui sarebbe stato più utile approfittare del primo ciclo di "piccolo fuoco", con i suoi vapori carichi d'acqua, per disidratare in modo particolarmente gentile gli stessi crudi che, dopo una sola giornata di essiccazione, erano ancora piuttosto freschi..

Il passaggio al "grande fuoco" (fase in cui si raggiunge il massimo di temperatura) ha richiesto una copertura idonea per il foro alla sommità della volta. Non disponendo di una pietra di dimensioni adatte, una sorta di coperchio è stato fabbricato *ad hoc* usando un intreccio di ginestra ricoperto di argilla ai due lati (Fig. 8).

Durante il "grande fuoco" sono stati uditi di

Fig. 9 - Recupero degli oggetti cotti dalla fornace spenta.

tanto in tanto forti scoppi, all'inizio interpretati come dovuti alla rottura dei crudi per una loro insufficiente essiccazione. Si è ben presto verificato che i rumori erano invece legati al diaspro: mal sopportando gli elevati gradienti di temperatura, questa pietra si schiantava "sparando" schegge calde e taglienti che potevano diventare pericolose. Come si è scoperto dopo l'apertura del forno, il fenomeno ha interessato soprattutto le piastre del ripiano sulla faccia rivolta verso il cinerario, cioè l'elemento strutturale maggiormente investito dal fuoco, mentre nella camera di cottura si sono trovate solo poche schegge.

Piú grave si è rivelato il tema della copertura. Si è supposto che, cuocendosi, l'argilla del coperchio avrebbe potuto reggere da sola una volta che l'intreccio di ginestra si fosse bruciato. Tuttavia,

Fig. 10 - Dettaglio degli oggetti cotti nel 1995.

dopo circa un'ora il coperchio ha iniziato a cedere, ed è stato necessario sostituirlo con un coperchio nuovo, realizzato con la medesima procedura. L'operazione di sostituzione è stata assai delicata: durante l'asportazione, la vecchia copertura, fragile e rovente e quindi difficile da maneggiare, minacciava di danneggiare il vasellame con la caduta di qualche frammento. Inoltre, lo stato fortemente umido della nuova copertura ha sicuramente provocato un certo abbassamento della temperatura nella camera di cottura e il nuovo coperchio, subito esposto al "grande fuoco", rischiava di resistere meno del primo.

Poiché nel frattempo era sopraggiunto il buio, è stato deciso di interrompere l'esperimento. A dispetto di quanto raccomandato sul raffreddamento, che avrebbe dovuto essere sufficientemente lento per evitare l'insorgere di tensioni mecca-

niche con possibile formazione di fratture nei pezzi cotti, la brace è stata rimossa dal cinerario piuttosto rapidamente. Dopo circa mezz'ora, a forno aperto, sono stati estratti gli oggetti dalla camera di cottura e dalle ceneri sottostanti dove si sono ritrovate alcune biglie che erano state messe direttamente nel cinerario (Fig. 9).

Sorprendentemente, tutti i prodotti erano rimasti integri, ad eccezione di una ciotola particolarmente fragile (Fig. 10), la quale si è rotta probabilmente perché colpita da una scheggia di diaspro. Un frammento di questa ciotola è comunque servito per constatare che la ceramica ottenuta si frantumava a contatto con l'acqua.

Valutazione delle condizioni di cottura

Tutti gli oggetti alloggiati nella camera di cottura hanno assunto un bel colore nero tipo bucchero, tanto piú saturo quanto piú liscia la superficie, fino ad arrivare ai riflessi argentei del crogiolo a destra nella figura 10. Il suono degli oggetti è risultato intermedio tra quello cupo dei crudi e quello netto della ceramica ben cotta. Quanto alle biglie cotte a diretto contatto con la brace, esse hanno assunto un colore rosa pallido disomogeneo.

Le colorazioni che gli oggetti hanno acquistato dopo la cottura danno informazioni preziose sulle temperature raggiunte e sulle condizioni ossido-riduttive (redox) regnanti nella fornace. È il potenziale redox, quantificabile con il rapporto tra le specie ossidanti (O_2, CO_2, ecc.) e riducenti (CO, CH_4, ecc.) nel gas di combustione, che determina lo stato di ossidazione del ferro nei composti che si formano durante la cottura. Il ferro, come è noto, è il principale responsabile del colore delle ceramiche non rivestite. In condizioni di regime riducente, il ferro è bivalente (Fe^{2+}) e trivalente (Fe^{3+}) e si trova in composti quali la magnetite, dando luogo ad una ceramica di colore nero. In regime ossidante, invece, il ferro tende ad essere tutto trivalente, per cui si ottiene una ceramica rossa. Gli antichi Greci riuscivano, con un preciso protocollo di variazioni nella temperatura e nel potenziale redox, a fabbricare i famosi vasi con figure mitologiche in nero su fondo rosso o in rosso su fondo nero. In questi vasi, il nero si limita a un sottile strato superficiale, mentre l'interno ("coccio" o "pasta") è sempre rosso. Anche per ottenere ceramica a pasta nera come il famoso bucchero etrusco, sembra più decisivo l'uso di un'argilla ricca in ferro, piuttosto che di un impasto con carbone come viene spesso ipotizzato (cfr. Stewart *et al*., 2002); durante la cottura, infatti, il carbone tende a consumarsi come CO_2 o CO, con perdita del colore nero e aumento della porosità nella ceramica. Gli antichi Etruschi, semmai, per favorire la colorazione nera si aiutavano inserendo nel forno, a contatto con il vasellame, materiali organici come polvere di carbone, sterco animale o trucioli di legno, in grado di assicurare condizioni riducenti.

Dall'insieme delle osservazioni raccolte si può ipotizzare che nella camera di cottura siano state raggiunte temperature di circa 600-700°C; da un regime che inizialmente ha provocato la riduzione del ferro in superficie, si è passati ad un breve regime ossidante (alle piú alte temperature), sufficiente ad eliminare la fuliggine depositatasi nelle fasi iniziali e ad innescare un primo consolidamento della pasta. I piccoli oggetti di colore chiaro prelevati dal cinerario dimostrano invece che in quella zona il regime è stato prevalentemente ossidante, e, com'era logico aspettarsi, sono state raggiunte temperature superiori rispetto alla camera di cottura. Tuttavia, la durata del "grande fuoco" (complessivamente poco piú di un'ora) e le temperature raggiunte sono sicuramente state insufficienti per una vera cottura ceramica. Le temperature in gioco possono essere state anche condizionate dall'uso del pino come legno da combustione, legno resinoso e dunque facilmente infiammabile ma che brucia velocemente, con picchi massimi di temperatura di breve durata.

Le campagne di lavoro successive (fino al 2000)

Le campagne successive, svoltesi sempre nel mese di giugno, sono state indirizzate soprattutto al miglioramento della tecnica di cottura, sempre basandosi rigorosamente su mezzi di fortuna e senza l'ausilio di strumenti moderni per il monitoraggio delle condizioni di lavoro. Il forno è stato ogni volta ricostruito a partire dai resti dell'espe-

rienza precedente, talvolta dovendo sfrattare "ospiti" poco desiderati (scolopendra) insediatisi durante i periodi di abbandono.

Disponendo di giornate più lunghe, un aspetto sicuramente migliorato è stato quello relativo alla durata del "grande fuoco". Con due o tre ore di fuoco mantenuto al massimo e utilizzando un'argilla identica a quella del 1995, sono stati ottenuti oggetti grigi, piuttosto deludenti dal punto di vista estetico ma di pasta più consolidata rispetto a quelli ricavati nella prima campagna. A questo risultato può aver contribuito anche il fatto che si è passati dalla legna di pino a quella di quercia (roverella e leccio), che contiene molta meno resina e dà un fuoco piú durevole creando un regime piú ossidante.

Un altro aspetto interessante, ultimo tassello mancante per un intero ciclo di produzione basato su mezzi di fortuna, è stato la preparazione di un impasto ricavato direttamente dall'argilla ferrifera della cava. Durante il prelievo di quest'argilla è stato a volte possibile, come nel 1999, selezionare già *in situ* la frazione piú fine in forma di sottili "zollette" color cioccolato, staccatesi dalla superficie di un suolo poligonale in avanzata fase di prosciugamento. Questo materiale è stato poi raffinato in laboratorio attraverso una serie di passaggi di vagliatura per sedimentazione e decantazione, risultando in un bell'impasto rosso, plastico e a granulometria finissima, da impiegare per la foggiatura di oggetti nelle successive campagne.

I momenti meno impegnativi (ad esempio durante il "piccolo fuoco" o la cottura, che può essere mantenuta da 2-3 persone) sono stati utilizzati per fare via via il punto della situazione e, dal 1999, per visitare la Fornacetta di Asciano, un bellissimo esempio delle grandi fornaci da ceramica di tipo bicamera con fuoco a legna come si usavano in Toscana e Umbria nel '500 (Piccolpasso, 1557).

Passaggio al fuoco rovesciato

Gli scarsi risultati delle cotture realizzate fino al 1999 hanno fatto comprendere che con il tipo di fornace utilizzato (Fig. 3) doveva essere difficile raggiungere gli 800-900 °C necessari per una vera cottura ceramica. Nella campagna successiva (2000) è stato quindi deciso di passare, con una piccola modifica, alla tecnica del fuoco rovesciato (Fig. 11). Stavolta, nella ricostruzione del forno la cupola è stata completamente chiusa, ad eccezione di una piccola apertura laterale lasciata poco al di sopra del piano di separazione tra le camere di combustione e di cottura. Dopo il "caricamento" dei crudi il foro è stato ridotto al diametro di una sola pietra e a ridosso della fornace è stata alzata una ciminiera. Durante la cottura si è constatato che la ciminiera doveva essere impermeabilizzata alla base ed avere un'altezza almeno uguale a quella della cupola, al fine di garantire un buon tiraggio (Figg. 11 e 12). Non essendo poi esposto direttamente al fuoco, il coperchio sulla ciminiera (ad esempio una lastra di travertino) poteva essere facilmente spostato o rinnovato per tarare il tiraggio. In questo modo si è evitato che il fuoco potesse soffocare o che un eccesso di ventilazione

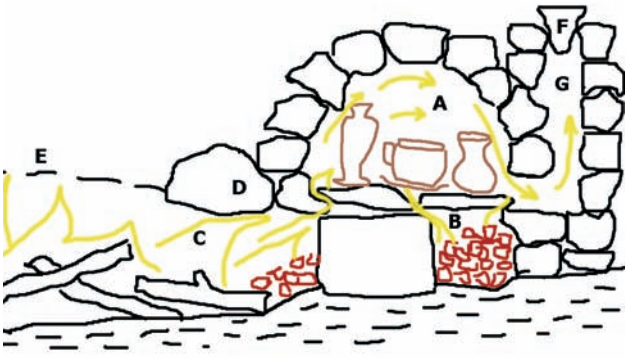


Fig. 11 - Sezione di fornace bicamera a fondo inclinato e a fuoco rovesciato. Per il significato delle lettere A-F vedi figura 3. G - ciminiera.

Fig. 12 - La fornace bicamera con fuoco rovesciato e ciminiera.

Fig. 13 - I crudi caricati nella campagna del 2000, visti attraverso il foro laterale ("di caricamento") ancora aperto. In primo piano i quattro testimoni usati per ottenere informazioni sul grado di cottura raggiunto (vedi testo).

abbassasse la temperatura.

Rompendo un po' con la regola di usare solo mezzi di fortuna, si è deciso di monitorare la temperatura della fornace con l'antico metodo dei testimoni o "provini", collocati in vari punti della camera di cottura e del cinerario.

In particolare, sono stati usati tasselli squadrati di alluminio e alcuni coni di Seger. La deformazione dei tasselli di alluminio dopo la cottura avrebbe indicato il raggiungimento della temperatura di fusione del metallo (660°C). I coni di Seger, invece, reperibili presso ditte specializzate in materiali per ceramisti, sono costituiti da un impasto ceramico che diventa plastico (non possiede un vero e proprio punto di fusione) ad una certa temperatura. Usando un supporto di argilla, vengono posizionati con una leggera inclinazione che, allo stato plastico, provoca un incurvamento proporzionale alla temperatura raggiunta e alla durata della cottura.

La figura 13 mostra un supporto di argilla contenente (da sinistra a destra) un tassello di alluminio e tre coni di Seger con temperature di deformazione di 780, 835 e 900 °C rispettivamente. Nella stessa figura si apprezza anche che i crudi sono stati fabbricati sia con l'argilla grigia commerciale (analoga a quella usata nella prima campagna), sia con l'argilla rossa di nostra preparazione.

Com'è visibile dai prodotti (Figg. 14 e 15), questa volta la cottura ceramica è perfettamente riuscita. Evidentemente, la tecnica del fuoco rovesciato ha permesso il raggiungimento di un'elevata temperatura la quale, mantenuta per 5-6 ore, è stata efficace per ottenere oggetti duri dal suono netto e con un bel colore seppia omogeneo (se fabbricati con l'argilla grigia) o rosso acceso (se fabbricati con l'argilla ferrifera della cava), indicando quindi in ogni caso regime ossidante. In linea con le osservazioni fatte per la prima cottura, la colorazione è risultata tanto piú intensa quanto piú liscia era la superficie (vedi il crogiolo al centro in figura 14) e tanto piú scura quanto più protette dal contatto diretto con la fiamma risultavano le parti.

Fig. 14 - Sfornata ottenuta nella fornace bicamera a fuoco rovesciato durante la campagna del 2000.

La temperatura raggiunta

Insieme a 3 coni di Seger, un tassello di alluminio è stato disposto vicino ad un foro nel ripiano in cui il fuoco arrivava direttamente dal cinerario; un secondo tassello è stato invece collocato in un punto piú riparato della camera di cottura. Poiché entrambi i tasselli si sono fusi, ne consegue che le temperature hanno ovunque raggiunto almeno 660 °C.

Tra i vari oggetti sono stati posti, a triangolo con i tasselli in alluminio, tre crogiolini (Fig. 14) contenenti sali interessanti per la fabbricazione di smalti e di decorazioni superficiali. In

particolare sono stati usati cloruro di litio (LiCl: punto di fusione 605 °C), borace disidratata ($Na_4B_4O_7$: p.f. 741 °C) e acido borico (H_3BO_3: decomposizione a T>169 °C).

Il fatto che si sia fusa anche la borace significa che in tutta la camera di cottura sono stati abbondantemente superati i 700°C. Sia la borace che l'acido borico hanno formato un vetro nel fondo dei crogiolini. Oggi, dopo ormai 5 anni dall'esperimento, il vetro creato dall'acido borico si è scomposto, probabilmente perché si erano formati composti igroscopici non resistenti al contatto con l'aria. Al fondersi, il LiCl, è andato in effervescen-

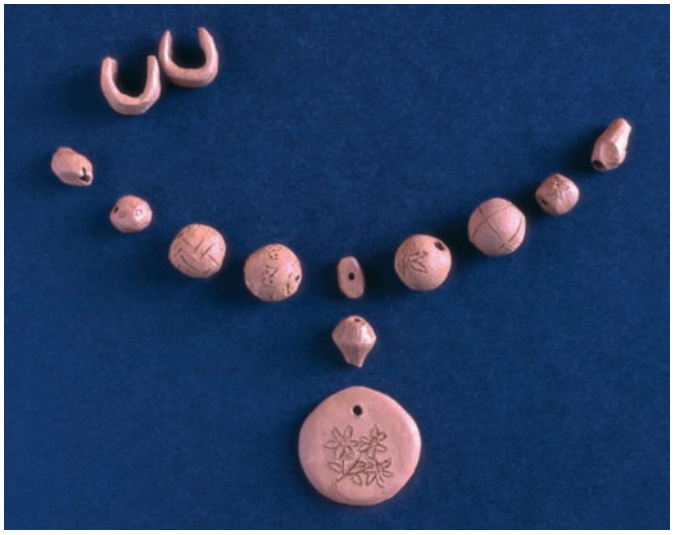


Fig. 15 - Uno degli oggetti della sfornata del 2000.

za traboccando dal crogiolo e colorando tutto di un profondo rosso violaceo: appunto il colore dell'ematite (Fe_2O_3), di cui il sale fuso ha evidentemente favorito la formazione.

I risultati dei coni di Seger sono stati meno chiari. Gli unici coni deformati sono quelli di 780 °C e 900 °C (a sinistra e a destra nella figura 15); nemmeno questi, però, mostrano incurvamenti apprezzabili, probabilmente perché montati troppo in verticale sul supporto in argilla. Sia il cono di 835 °C posto tra i due precedenti, che quelli di 780 °C (ubicato in un punto del forno piú riparato dal fuoco) e di 935 °C (alloggiato direttamente nel cinerario) risultano privi di deformazioni.

Si può quindi concludere che nei punti piú privilegiati della camera di cottura la temperatura ha superato i 780 °C, con massimi sicuramente di breve durata fino a 900 °C.

Ringraziamo Rosalba Maremmi per la sua assistenza professionale e il continuo interesse nel nostro lavoro; Anna Pia Biagini e la Colacem SpA di Gubbio (PG), per averci consentito l'uso della cava di loro proprietà; la Guardia Forestale di Asciano per gli inevitabili permessi di accendere il fuoco; il Comune di Asciano (SI) per tutte le volte che ha consentito la nostra visita alla "Fornacetta". Fotografie e disegni sono di: Barbara Anselmi (13-16), Carmen Gómez-Calcerrada García-Parrado (4,6-8), mg (1,3,12), Rosalba Maremmi (2,5,9,10).

Testi citati e di approfondimento

Caruso N. (1989) - *Ceramica viva*. Hoepli, Milano, 353 pp.

Hasaki E. (2002) - *Ceramic kilns in ancient Greece: technology and organization of ceramic workshops*. PhD thesis, College of Arts and Sciences, University of Cincinnati, Ohio, 591 pp.

Piccolpasso C. (~1557) - *Li Tre Libri dell'Arte del Vasaio*. Riedizione curata da Giovanni Conti (1976), All'Insegna del Giglio, Firenze, 260 pp.

Redinha J. (1975) - *Etnias e culturas de Angola*. Edição Instituto de Investigação Científica de Angola, 448 pp.

Rhodes D. (1976) - *Les Fours*. Dessain et Tolra, Paris, 252 pp.

Stewart J.D., Adams K.R,, Borradaile G.J. & MacKenzie A.J. (2002) - *Investigations of paints on ancestral Puebloan black-on-white pottery using magnetic and microanalytic methods*. Journal of Archaeological Science, 29, 1309-1316.

Siti internet di interesse per gli argomenti trattati

http://grafik.sdsu.edu/ceramicsweb//main.html
http://perso.wanadoo.fr/smart2000/index.htm
http://www.clayartcenter.com/
http://www.colorobbia.it
http://www.farneti.it/LinkPiccolpasso.asp
http://www.walkerceramics.com.au/cones.htm

Una prospettiva di studio per l'Isola di Montecristo e la sua zona costiera

Luca Bracchini° , Arduino Massimo Dattilo*°, Alessandro Donati*, Silvia Focardi*, Steven Arthur Loiselle*°, Stefania Mazzuoli*°, Antonio Tognazzi*°, Claudio Rossi*°*

* Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi, Laboratorio di Spettroscopia Ambientale
Via A. Moro 1, 53100 Siena
Università degli Studi di Siena, Polo Universitario di Colle Val d'Elsa
Viale Matteotti 15, 53100 Colle di Val d'Elsa (Siena)
° Consorzio Interuniversitario per lo Sviluppo dei Sistemi a Grande Interfase (CSGI)
Via della Lastruccia 3- 50010 Sesto Fiorentino (Firenze)

Tra le isole dell'Arcipelago Toscano, Parco Nazionale dal 1996, particolare importanza storica ed ecologica riveste l'Isola di Montecristo (Fig. 1) con la zona costiera ad essa limitrofa. Quest'isola, posta nel territorio comunale di Portoferraio (Provincia di Livorno), dista 29 miglia marine dall'Isola del Giglio e 24 dall'Isola d'Elba; ha un'estensione di soli 1031 ettari e un'altitudine variabile da 0 a 645 m sul livello del mare. Le coste, che si estendono per circa 16 km, presentano caratteristiche di dirupo che ne limitano le possibilità di approdo. L'unico punto di sbarco, infatti, è rappresentato da Cala Maestra, profonda e stretta valle fittamente ricoperta da vegetazione. Il clima mediterraneo marino di quest'isola è caratterizzato da inverni miti e piovosi e da estati calde caratterizzate da elevata umidità atmosferica.

L'Isola di Montecristo fu dichiarata Riserva Naturale nel 1971, con un accordo congiunto tra la Marina Mercantile, il Ministero delle Finanze ed il Ministero dell'Agricoltura. Nel 1977 il Consiglio d'Europa l'ha proclamata Riserva Naturale Biogenetica. Dal 1988 è stata posta sotto protezione come Riserva Naturale, oltre alla parte emersa, anche la fascia costiera fino ad 1 km dalla costa. Sempre nel 1988, il Consiglio d'Europa ha attribuito all'isola il "Diploma Europeo", distinzione internazionale concessa nei casi di applicazioni di norme restrittive orientate al mantenimento e perfezionamento della gestione conservativa della Riserva. Ciò trova riscontro nella sostanziale assenza di popolazione (con un flusso umano di non più di 1000 individui annui, quasi tutti ricercatori scientifici) e nel totale divieto di pesca, ancoraggio e transito entro la fascia costiera protetta.

Fig. 1 – Tratto di costa dell'Isola di Montecristo visto dal mare.

Fig. 2 – Le limpide acque costiere dell'Isola di Montecristo.

Ne consegue che questo ecosistema (terrestre e costiero) gode oggi di un impatto antropico praticamente nullo, se si escludono le implicazioni legate a cambiamenti globali (aumento della temperatura e della CO_2 e variazione della trasparenza atmosferica alla radiazione solare) o dovute all'attività marittima.

La natura sostanzialmente rocciosa e scoscesa della costa, la distanza dell'isola dal continente e l'assenza di attività antropiche *in situ* sono da ritenere condizioni idonee per conferire all'acqua marina proprietà ottiche atipiche rispetto alla maggioranza delle acque costiere del Mar Mediterraneo (Fig. 2). L'atipicità potrebbe riguardare l'alta trasparenza dell'acqua alla radiazione solare ultravioletta (UV, 290-400 nanometri; 1 nanometro = 1 nm = 10^{-9} m) e visibile (PAR: Radiazione Fotosinteticamente Attiva; 400-700 nm), nonché la bassa concentrazione di materia organica disciolta, di nutrienti e, quindi, di fitoplancton. A tutt'oggi, comunque, nessuna ricerca è stata condotta per studiare le proprietà ottiche e bio-ottiche della zona costiera attorno all'isola. Ad esempio, non si conosce a quali profondità medie è possibile misurare il 10% (zona fotoattiva) e 1% della radiazione solare UV-B (290-320 nm) rispetto a quella misurata appena al disotto della superficie marina. L'importanza di questo parametro risiede nell'effetto che i fotoni di questa banda solare possono avere sia sulle comunità biotiche sia sulla struttura abiotica degli ecosistemi acquatici. Questa banda dello spettro solare è infatti riconosciuta come potenzialmente nociva agli organismi viventi (Dattilo *et al*., 2005). Essa esercita, inoltre, un forte impatto sulla qualità della materia organica disciolta cromoforicamente attiva (cioè la porzione della materia organica disciolta che assorbe la radiazione elettromagnetica UV e visibile), riducendone il peso molecolare medio (*photodegradation*) e, nel contempo, la capacità di assorbire la stessa radiazione (*photobleaching*: Bracchini *et al*., 2005a).

L'analisi delle proprietà ottiche e bio-ottiche delle acque costiere dell'Isola di Montecristo potrebbe permettere di rispondere a domande di interesse ecologico e biologico (ad esempio: esiste o non esiste una correlazione tra la penetrazione della radiazione solare e la profondità a cui si sviluppano le popolazioni di gorgonie e coralli?). Oltretutto diverrebbe possibile valutare la vulnerabilità dei sistemi viventi e le variazioni stagionali della qualità della matrice disciolta causate dagli attuali regimi radiativi, con particolare interesse anche nei confronti di eventuali scenari futuri. Qualora le proprietà ottiche e bio-ottiche dell'ecosistema marino rivelassero alta trasparenza alla radiazione UV, tale sistema risulterebbe particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici (incremento della temperatura media delle acque, della radiazione solare al livello del mare, del quantitativo medio di CO_2 disciolto in acqua, ecc.) i quali, prima che in altri ecosistemi, potrebbero determinare effetti osservabili.

Quanto finora esposto fa intravedere l'estrema utilità di effettuare nell'area di Montecristo uno studio, a lungo termine e con cadenza stagionale, delle caratteristiche ottiche spettrali (da 290 nm a 700 nm con risoluzione spettrale di 3 nm) e di banda UV dell'ambiente marino costiero, nonché l'analisi spazio-temporale della materia organica

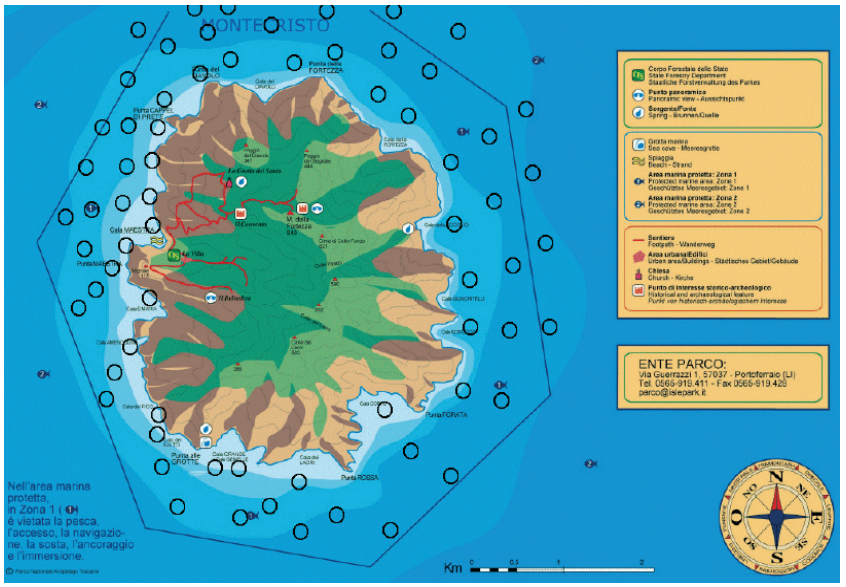


Fig. 3 - Possibile distribuzione delle stazioni di misura (circoli) attorno all'Isola di Montecristo

materia organica disciolta, del fitoplancton, dei nutrienti e dei solidi sospesi. Possono infine essere studiati gli effetti dei diversi regimi radiativi sugli organismi viventi. Una metodologia analoga è già stata utilizzata da Dattilo *et al*. (2005b) nello Stretto di Messina (Fig. 6). Seguendo Bracchini *et al*. (2004), la descrizione delle principali caratteristiche ottiche e chimico-fisiche misurate puo' avvenire attraverso mappe georeferenziate (anche con l'ausilio di immagini telerilevate da piattaforma satellitare).

cromoforicamente attiva e non.

Per la realizzazione di un eventuale progetto occorre inizialmente individuare le stazioni idonee per le misure di radiazione solare (Fig. 3). Queste ultime, da eseguirsi tramite spettroradiometri (Figg. 4-5), devono rientrare nella fascia costiera protetta e, per confronto, in siti vicini ma non ugualmente preservati. Da tali misure è possibile risalire alla valutazione del coefficiente di attenuazione spettrale e allo spessore d'acqua, rispetto alla superficie, attraversato da almeno l'1% delle radiazioni UV e PAR. Dai campioni d'acqua prelevati a varie profondità possono inoltre essere determinate le concentrazioni e le proprietà chimiche della

Questo progetto di ricerca potrebbe essere finanziato sia attraverso l'utilizzo di fondi locali, nazionali e internazionali, sia con il sostegno dell'Ente di Gestione del Parco e della Guardia Forestale. Quest'ultima, del resto, è già attiva nel supporto di un altro progetto di ricerca promosso dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi dell'Università di Siena e relativo allo studio di contaminanti metallici (quali ad esempio l'arsenico) dispersi nel suolo dell'Isola di Montecristo.

È ovvio che le competenze scientifiche relative a questa isola di alto interesse naturalistico rafforzerebbero a livello internazionale il ruolo delle Istituzioni locali e nazionali nell'attuare progetti orientati alla conoscenza e alla preservazione dell'ambiente.

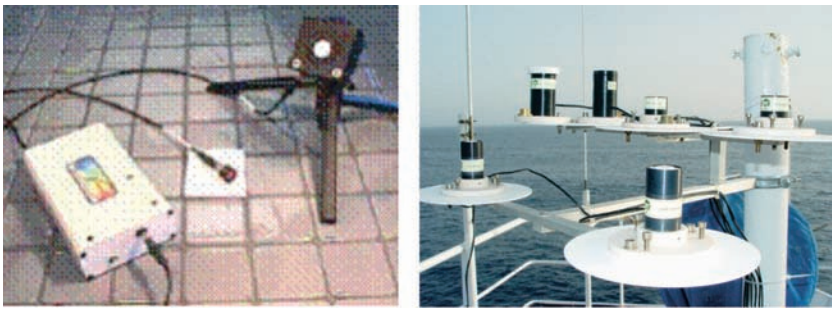


Fig. 5 - Radiometri di banda montati sulla nave oceanografica URANIA durante una campagna nel Mar Mediterraneo (a sinistra). Spettroradiometro StellarNet EPP2000 (a destra).

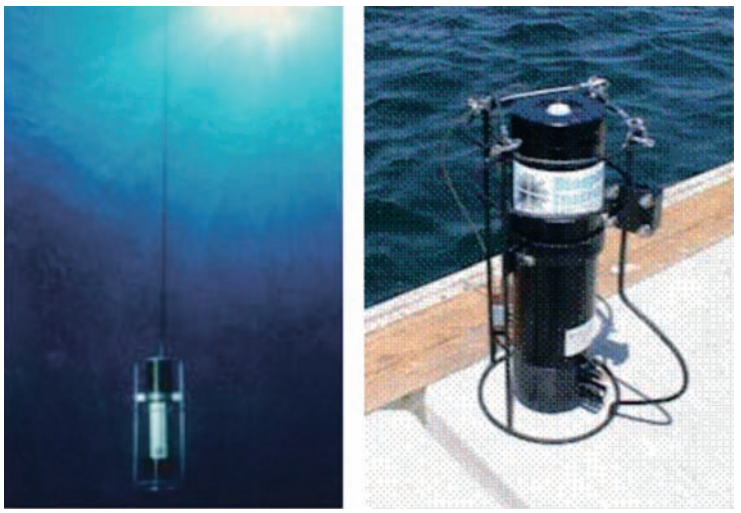


Fig. 4 - Spettroradiometro PUV 541 a "lavoro" ed a "riposo".

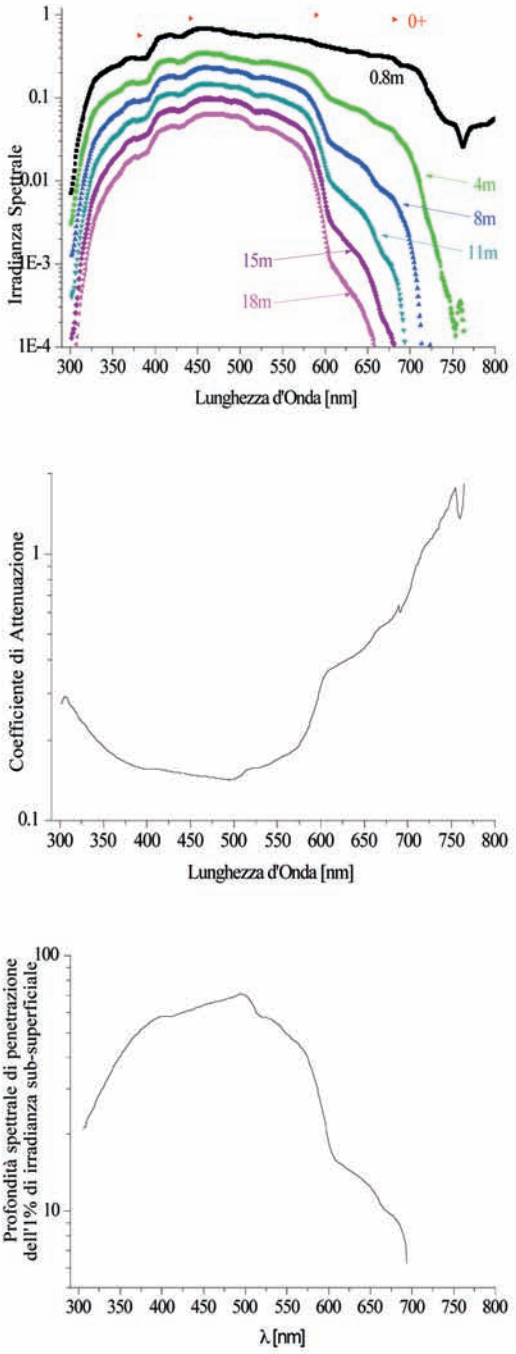


Fig. 6 - Dati raccolti da Dattilo *et al*. (2005b) durante una campagna di misura nello Stretto di Messina. In alto, l'irradianza spettrale misurata sopra la superficie marina (punti rossi) e al disotto di essa a varie profondità. Al centro, il coefficiente di attenuazione spettrale della radiazione solare in acqua marina. In basso, la rispettiva profondità spettrale a cui è possibile misurare l'1% della radiazione solare sub-superficiale.

Testi citati

Bracchini L., Loiselle S.A., Dattilo A.M., Mazzuoli S., Cózar A. & Rossi C. (2004) - *The spatial distribution of the optical properties in the UV and Visible in an aquatic ecosystem*. Photochemistry and Photobiology, 80(1) 139-149.

Bracchini L., Dattilo A.M., Falcucci M., Loiselle S.A., Hull V., Arena C. & Rossi C. (2005) - *Spatial and temporal variations of the inherent and apparent optical properties in a shallow coastal lake*. Journal of Photochemistry and Photobiology. B. Biology, 80, 161-177.

Dattilo A.M., Bracchini L., Loiselle S., Carlini L. & Rossi C. (2005a) - *The estimate of the effects of UV radiation on mortality of* Artemia franciscana *in naupliar and adult stages*. International Journal of Biometeorology, 49, 388-395.

Dattilo A. M., Decembrini F., Bracchini L., Focardi S., Mazzuoli S. & Rossi C. (2005b) - *Penetration of solar radiation into waters of Messina Strait (Italy)*. Annali di Chimica, 95, 3-4, 177-184.

L'arborario, prima *Baumbibliotheke* della Toscana meridionale

Mario Morellini, Annibale Parisi***
*Strada dei Monti, 24 – 53042 Chianciano Terme (Siena)
**Località Nostravita – 53024 Montalcino (Siena)

Ispirandoci alle "biblioteche del legno" mitteleuropee del Settecento e dell'Ottocento, abbiamo realizzato un "arborario" della Toscana meridionale: un nuovo ed "artistico" strumento che introdurrà in modo suggestivo alla conoscenza del regno vegetale.

La nostra è una ben inconsueta collana di "libri naturali". Questi, infatti, per numero e per dimensioni presentano la stessa monumentalità dei tomi dell'Enciclopedia Italiana Treccani, mentre nella capacità di sintesi ricordano i volumetti Bignami tanto cari al pubblico studentesco. In ciascuno di questi libri, comunque, non ci sono né voci da consultare né illustrazioni da guardare, ma soltanto parti di organi vegetali – come foglie, ghiande e galle – da osservare, odorare e toccare. La collana, insomma, si configura come un vero e proprio "arborario".

Introduciamo un termine nuovo e ne siamo consapevoli, però ci sembra che sia quello che meglio si presta a definire quanto stiamo per descrivere. Questo perché:

- una xiloteca raccoglie campioni di legno che, presentati secondo tagli e sezioni appropriate, ne mettono in evidenza gli anelli di crescita e le peculiarità di venatura, colore e porosità, nonché, possibilmente, le caratteristiche sonore;
- una filloteca è una raccolta di foglie, essiccate o in preparato umido, dove oltre ad essere esemplificate le varie specie sono soprattutto illustrate le deviazioni dal tipo standard che si trovano nella stessa pianta (cioè le eterofillie);
- una cecidioteca è una raccolta dov'è possibile esaminare le principali parassitosi animali e fungine a carico di vari apparati vegetali, esempio classico le galle di quercia;
- una carpoteca è una collezione di frutti, carnosi o secchi;
- una spermoteca è una collezione di semi;
- una palinoteca è una collezione di pollini;
- un erbario, infine, raccoglie piante erbacee essiccate nella loro interezza, cioè complete di radici, fusto, foglie, fiori e possibilmente semi e frutti.

Così ciò che per le piante erbacee è rappresentato da un erbario, analogamente per le piante legnose diventa un "arborario".

Esempi per molti versi corrispondenti a questo modo di raccogliere e presentare il mondo degli

Fig. 1 – Gli autori in mezzo al loro arborario.

Fig. 2 – Alcuni volumi dell'arborario.

alberi possono senza dubbio essere indicati nelle splendide xiloteche tedesche dei secoli XVIII e XIX. Si trattava di grandi raccolte in forma di libro, chiamate perciò *Holzbibliotheken* ("biblioteche del legno"), la cui realizzazione in quel particolare contesto culturale fu frutto non di uno sterile collezionismo, bensì di un vero, sentito e vissuto modo di valorizzare il bosco e il paesaggio. Alcune delle più famose *Holzbibliotheken* furono realizzate indipendentemente in Bavaria da Candid Huber e a Norimberga da Carl von Hinterlang in collaborazione con Friedrich Alexander von Schlumbach.

Dopo i danneggiamenti provocati dai due conflitti mondiali, rimangono poche tracce di queste raccolte storiche: se ne sono salvate solo una quindicina in tutta Europa, dieci delle quali (molto vaste e ben conservate) si trovano presso musei ed istituzioni scientifiche tedesche ed olandesi. Anche l'Italia vanta due xiloteche storiche: la prima a Milano (presso il Museo Civico di Storia Naturale) e l'altra a San Vito di Cadore (Provincia di Belluno).

La nostra collezione, comunque, si presenta con concezione e veste originali, che la rendono unica rispetto alle precedenti (Fig. 1). Non si tratta, infatti, di una *Holzbibliotheke*, bensì di una *Baumbibliotheke* ("biblioteca dell'albero") in quanto il suo intento è di descrivere unicamente piante arboree, o legnose in generale. Più in particolare, essa concerne non soltanto le specie autoctone della Toscana Meridionale, ma anche quelle ivi naturalizzate come la Robinia e l'Ailanto, oppure coltivate ed ormai acclimatate come il Noce e l'Olivo. Al momento la raccolta si compone di 70 volumi alti 40 cm, larghi 30 cm e profondi da 10 a 12 cm (Fig. 2). Ovviamente l'opera è suscettibile di ampliamento almeno per due motivi: il primo è insito nella ristrettezza dello spazio disponibile, che non consente di sistemare in un unico volume tutti gli oggetti che possono completare la caratterizzazione ontogenetica della specie arborea; il secondo consiste nella necessità di approfondire le indagini nel territorio per documentare le eventuali essenze sfuggite alla prima catalogazione. Esternamente i volumi hanno l'aspetto di imponenti tomi seicenteschi. Al loro dorso è in bella mostra applicata una listatura di corteccia stagionata della pianta stessa, sulla quale è incastonata un'inserzione in legno chiaro con inciso a fuoco il nome comune della specie. La copertina in legno è impreziosita con foglie ed altre strutture diagnostiche della pianta (completamente incluse e protette in resina trasparente in modo da garantirne la durata) ed è collegata al dorso tramite una cerniera in pelle decorata con elementi che richiamano le parti della pianta stessa. Aprendo questo "scrigno" (Fig. 3) appare sulla guardia una scheda, con sintetica descrizione della specie, la quale può essere estrat-

Fig. 3 – Interno di un volume dell'arborario.

ta dall'apposita tasca in pelle dove trovano posto altri materiali cartacei come foto, piantine, ecc.; sulla destra, invece, compare una teca divisa in scomparti dove si ammirano rametti, sezioni di tronchi, galle, foglie, nonché vasetti, flaconi, provette e piccole scatole trasparenti contenenti fiori, frutti, semi, gemme, resine, essenze, campioni di segatura, plantule, ecc., preparate e conservate con varie tecniche come l'essiccazione, la glicerizzazione, la resinazione e la conservazione in sabbia e formalina. I vari campioni sono numerati ed elencati nell'apposita legenda interna ad ogni volume.

Indubbiamente la visione di quest'opera genera una sensazione di piacevole contatto sia visivo che tattile con il mondo degli alberi. Tale sensazione scaturisce dalla naturale eleganza e bellezza delle varie parti che compongono la pianta: ad esempio, la forma perfetta di una ghianda entro la sua custodia arricciata, la raffinata pieghettatura di una foglia di Carpino che richiama un tessuto e le forme lacerate di rosso vivo della galla a fungo della Quercia. La curiosità suscitata da questa "biblioteca del bosco" non puo' in ogni caso non coinvolgere un pubblico sia di studiosi che di dilettanti.

A noi sembra che l'intera opera possa rappresentare un tutto armonico, un *continuum* estetico con la natura che pretende di catturare e conservare.

Diamo qui di seguito un elenco dei volumi finora preparati, con il nome volgare e scientifico delle piante che rappresentano.

Acero campestre	(*Acer campestre)*
Acero di monte	(*Acer pseudoplatanus*)
Acero minore	(*Acer monspessulanus*)
Acero opalo	(*Acer opalus*)
Agrifoglio	(*Ilex aquifolium*)
Ailanto	(*Ailanthus glandulosa*
Alaterno	(*Rhamnus alaternus*)
Alloro	(*Laurus nobilis*)
Appeggi	(*Juniperus oxycedrus*)
Bagolaro	(*Celtis australis*)
Biancospino	(*Crataegus monogyna*)
Bosso	(*Buxus sempervirens*)
Corbezzolo	(*Arbutus unedo*)
Carpino bianco	(*Carpinus betulus*)
Carpino nero	(*Ostrya carpinifolia*)
Castagno	(*Castanea sativa*)
Cerro	(*Quercus cerris*)
Cerro-sughera	(*Quercus crenata*)
Ciavardello	(*Sorbus torminalis*)
Ciliegio selvatico	(*Prunus avium*)
Cipresso	(*Cupressus sempervirens*)
Corniolo	(*Cornus mas*)
Edera	(*Hedera elix*)
Erica arborea	(*Erica arborea*) e
Erica scoparia	(*Erica scoparia*)
Fusaggine	(*Evonimus europaeus*)
Faggio	(*Fagus sylvatica*)
Farnia	(*Quercus robur*)
Fico	(*Ficus carica*)
Frassino	(*Fraxinus excelsior*)
Gelso	(*Morus alba*)
Ginepro	(*Juniperus communis*)
Ginestra	(*Spartium junceum*)
Leccio	(*Quercus ilex*)
Lentisco	(*Pistacia lentiscus*)
Marruca	(*Paliurus spinachristi*)
Melo selvatico	(*Malus sylvestris*)
Moro	(*Morus nigra*)
Nespolo	(*Mespilus germanica*)
Nocciolo	(*Corylus avellana*)
Noce	(*Juglans regia*)
Olivastro	(*Phyllirea sp*.)
Olivo	(*Olea europaea*)
Olmo campestre	(*Ulmus minor*)
Ornello	(*Fraxinus ornus*)
Perastro	(*Pyrus pyraster*)
Pino d'Aleppo	(*Pinus halepensis*)
Pino domestico	(*Pinus pinea*)
Pino marittimo	(*Pinus pinaster*)
Pino nero	(*Pinus nigra*)
Pioppo bianco	(*Populus alba*)
Pioppo grigio	(*Populus canescens*)
Pioppo nero	(*Populus nigra*)
Pioppo tremulo	(*Populus tremula*)
Prugnolo	(*Prunus spinosa*)
Robinia	(*Robinia pseudoacacia*)
Rosa canina	(*Rosa canina*)
Rosmarino	(*Rosmarinus officinalis*)
Roverella	(*Quercus pubescens*)
Salice bianco	(*Salix alba*)
Salice cenerino	(*Salix cinerea*)
Salicone	(*Salix caprea*)
Sambuco	(*Sambucus nigra*)
Sanguinello	(*Cornus sanguinea*)
Sorbo domestico	(*Sorbus domestica*)
Sughera	(*Quercus suber*)
Vitalba	(*Clematis vitalba*)
Vite	(*Vitis vinifera*)

Il progetto Falco pescatore [*Pandion haliaetus* (Linné)] nel Parco Regionale della Maremma

Andrea Sforzi
Museo di Storia Naturale della Maremma
Strada Corsini, 5 – 58100 Grosseto

Con meno di un centinaio di coppie riproduttive distribuite tra Corsica, Isole Baleari, Algeria e Marocco, la popolazione mediterranea di Falco pescatore, *Pandion haliaetus* (Linné), costituisce un'entità vulnerabile sotto il profilo conservazionistico. In Italia, la definitiva scomparsa della specie è fatta risalire agli anni '50-'60. La principale causa storica di estinzione del Falco pescatore come nidificante viene comunemente indicata nella persecuzione diretta.

L'area tirrenica centrale non fa eccezione: da circa un secolo non vengono registrati eventi di nidificazione di questo splendido rapace. Il Falco pescatore risultava nidificante nell'Isola di Montecristo sino perlomeno alla fine del XIX secolo (Giglioli, 1886); dopodiché si perdono le informazioni storiche sulla presenza della specie come nidificante. Il dato riferito successivamente da Arrigoni degli Oddi (1929) si riferisce infatti, con ogni probabilità, alla stessa osservazione riportata da Giglioli (Giovacchini, comunicazione personale).

In Corsica il Falco pescatore ha rischiato di seguire lo stesso destino di molte altre popolazioni mediterranee, tanto che nel 1974 ne restavano solo 4 coppie. Fortunatamente, comunque, l'adozione tempestiva e prolungata di efficaci strumenti di conservazione e controllo del territorio ha portato ad un recupero straordinario della specie, fino alla trentina di coppie attualmente nidificanti. Il successo dell'operazione condotta dal Parco Regionale della Corsica è andato anche oltre: pressoché tutti i siti idonei per la nidificazione (concentrati nelle falesie della costa occidentale) sono ormai arrivati a saturazione, e la popolazione corsa sembra essere giunta al suo limite massimo di espansione. Estendendo idealmente questa realtà ad altre aree limitrofe come la Sardegna, l'Arcipelago Toscano e la costa tirrenica centrale, la riconquista spontanea da parte del Falco pescatore del suo originario areale di distribuzione sembra molto probabile. Tuttavia predire se, quando e con quali modalità ciò possa accadere è pressoché impossibile, anche in funzione delle modifiche che l'uomo ha apportato a molti ambienti e della accresciuta presenza di potenziali fonti di disturbo e di minaccia lungo le rotte di spostamento tra le aree idonee alla permanenza della specie. In questo contesto, la ricostituzione di siti di storica presenza della specie, come quelli presenti in Sardegna e in Toscana, costituisce una strategia essenziale per assicurare la conservazione del Falco pescatore su scala regionale mediterranea.

Da queste riflessioni ha preso il via, a partire dal 2002, il progetto di ricostituzione di una popolazione nidificante di Falco pescatore nel Parco Regionale della Maremma. Da allora sono molte le azioni compiute sul territorio, con l'assistenza del personale specializzato operante presso la Riserva Naturale di Scandola (Parco Regionale della Corsica), per stimolare la permanenza anche durante il periodo riproduttivo degli individui regolarmente svernanti all'interno del Parco Regionale della Maremma: costruzione e manutenzione di piattaforme con nidi artificiali, posatoi, modelli di adulti. Per il partner corso hanno partecipato ai lavori progettuali ed attuativi Jean-Claude Thibault, uno dei maggiori esperti della specie in ambito europeo, e Jean Marie Dominici, responsabile della Riserva Marina di Scandola ed esperto nella manipolazione ed inanellamento degli esemplari sul nido (Fig. 1).

Nel corso della prima fase del progetto sono stati inoltre controllati regolarmente i nidi per la loro manutenzione, dato che il vento può asportare lo strato di *Posidonia oceanica* utilizzato per rendere il fondo più simile possibile ad una struttura

Fig. 1 - Pullo di Falco pescatore sul nido. Da notare il perfetto mimetismo (Riserva Naturale di Scandola, Calvi, Corsica).

naturale. Alcuni individui in migrazione hanno già utilizzato i nidi come posatoio per consumare le prede; intorno alla prima metà di febbraio 2005, inoltre, una coppia ha mostrato gesti di corteggiamento, facendo sperare in un possibile inizio di nidificazione.

La successiva fase del progetto, avviata nel 2004, si propone di creare un nucleo riproduttivo di Falco pescatore mediante la tecnica dell'*hacking*, già sperimentata in Inghilterra (con traslocazione di individui dalla Scozia) e in Andalusia (con traslocazione di individui dalla Finlandia, Scozia e Germania). Si tratta essenzialmente di rilasciare sul territorio giovani esemplari provenienti da popolazioni in buona salute, al termine di un periodo di permanenza in un centro di involo, mirato a sviluppare una filopatria (ovvero attaccamento al territorio) tale da portarli, una volta raggiunta l'età riproduttiva, a tornare nell'area per nidificare (Fig. 3).

Scopo ultimo di questa operazione su scala regionale mediterranea, è di contribuire a limitare il rischio di estinzione del Falco pescatore, dato che il numero di località dove attualmente la specie si riproduce rimane molto piccolo (circa 4-6).

L'area scelta per questa fase del progetto è quella della foce dell'Ombrone e della Palude della Trappola. La sua individuazione segue criteri di idoneità ambientale per il Falco pescatore, oltre a criteri connessi al regime di protezione del territorio. Questo comprensorio è infatti incluso tra le aree RAMSAR di rilievo internazionale e riconosciuto come ZPS e SIC in base alla Direttiva Habitat (L.R. 56/2000); il Piano per il Parco, di prossima approvazione, prevede inoltre l'istituzione nell'area di una Riserva integrale.

Le aree umide costiere svolgono un ruolo di elevata importanza, in quanto possono sostenere un numero maggiore di individui rispetto alle coste rocciose. Considerate le caratteristiche ambientali dell'area oggetto di intervento, questo elemento costituisce un ulteriore fattore di rilievo del progetto nel contesto globale di conservazione della specie.

Il progetto complessivo prevede la traslocazione dalla Corsica e il rilascio di cinque-sei pulcini all'anno (dei quali almeno 3-4 maschi) per una durata di quattro-cinque anni. Il motivo di una lieve prevalenza di maschi risiede nella filopatria di questi ultimi, notoriamente maggiore rispetto a quella delle femmine; d'altra parte, ad un tale requisito va aggiunta la capacità di attrarre le femmine sul nido. Si stima, pertanto, che a progetto ultimato il numero complessivo di individui nell'area (intesa come comprensorio vasto, nel quale il Parco Regionale della Maremma funga come da fulcro) debba raggiungere quello di 10-15 (equivalente a 5-7 coppie).

Uno dei requisiti fondamentali di ogni progetto di reintroduzione è l'appartenenza degli esemplari da liberare allo stesso *taxon* originariamente presente, possibilmente a livello sottospecifico. In questo caso, in virtù della stretta affinità morfologica tra le attuali popolazioni europee (confermata

Fig. 2 - Apposizione di un anello colorato per il riconoscimento individuale (Marismas de l'Odiel, Huelva, Andalusia).

anche da recenti studi genetici) è verosimile affermare che gli individui provenienti dalla Corsica, ovvero dal nucleo riproduttivo più prossimo all'area di studio, siano i più idonei alla realizzazione del progetto.

Per il migliore raggiungimento degli obiettivi preposti è necessario che tutto il personale coinvolto disponga della professionalità e delle conoscenze necessarie alla buona riuscita del progetto. Per questo motivo, nel corso dell'estate 2005, sono state realizzate trasferte di formazione e apprendimento all'estero, le quali hanno coinvolto alcuni guardiaparco e lo scrivente, responsabile scientifico del progetto. A fine maggio – primi di giugno si è svolto il primo viaggio formativo in Corsica, per assistere alla misurazione e marcatura dei pulli ed approfondire le conoscenze sulla biologia della specie in natura. In luglio è stata la volta dell'Andalusia, dove da alcuni anni a Marismas de l'Odiel presso Huelva è in corso un progetto analogo (coronato da successo nel 2005, con il Falco pescatore che, per la prima volta dopo circa un secolo, è tornato a nidificare nella regione) (Figg. 2-3). Scopo di questa trasferta è stata la verifica delle procedure da attuare all'arrivo dei pulli e lo studio dei particolari costruttivi del centro di involo. Infine, in agosto, è stato possibile esaminare a Rutland Water, in Inghilterra, lo "stato dell'arte" del primo progetto di reintroduzione di Falco pescatore realizzato in Europa (Fig. 4). Questa visita, in particolare, è stata fortemente istruttiva ed ha posto le basi per l'avvio di una collaborazione con il *team* britannico: collaborazione il cui primo frutto è stato la visita in Maremma del responsabile del progetto inglese e di un suo collaboratore, per fornire consulenza sulla localizzazione e la costruzione del centro di involo.

Sulla scorta di quanto finora riferito, sono stati messi a punto i particolari costruttivi ed è stata avviata la realizzazione del centro, che sarà pronto a fine novembre 2005. Si tratta di una struttura in ferro alta circa 4 metri alla base (cui si sommano in altezza i 2 metri delle gabbie), con un ingombro orizzontale di 2x6 metri. Le gabbie consistono in cubi di due metri di lato, la cui parete frontale è incernierata alla base per consentirne l'apertura mediante una corda, azionata dal retro della struttura il giorno del rilascio. Il retro di ogni gabbia, invece, è munito di una piccola porta per l'accesso e di un foro sufficientemente largo per introdurvi pesci da far cadere in prossimità del nido artificiale costruito al suo interno. Alcuni posatoi adatti ai falchi pescatori saranno posti in luoghi prominenti intorno al centro di involo.

Nel corso dell'inverno verranno acquistate le radio da apporre ai falchi prima del rilascio e la strumentazione necessaria a seguire i loro spostamenti mediante telemetria. A questo scopo verrà condotto un corso di formazione rivolto alla Vigilanza per il corretto utilizzo delle attrezzature e l'acquisizione delle procedure di raccolta e archiviazione delle osservazioni.

Fig. 3 - Centro di involo realizzato per un progetto di hacking (Marismas de l'Odiel, Huelva, Andalusia).

Nella tarda primavera del 2006, i giovani falchi, in accordo e con il permesso delle autorità francesi, verranno prelevati dai nidi in Corsica a circa 40 giorni di età (quando la lunghezza dell'ala è di almeno 320 mm). A questo stadio i giovani di Falco pescatore sono capaci di termoregolare e le zampe sono sufficientemente forti da permettere loro di stare in piedi sul pasto e nutrirsi al nido.

Ogni pullo verrà inanellato, misurato e pesato sul nido; sarà inoltre effettuato il prelievo di un campione del DNA di sangue e penne, per la conferma del sesso (ben evidente esteriormente solo

Fig. 4 - Piccoli di Falco pescatore all'interno di una gabbia del centro di involo, pronti per il rilascio (Rutland Water, Inghilterra).

al raggiungimento della maturità sessuale, intorno al secondo anno di età) e il riconoscimento individuale degli esemplari.

Il trasporto dalla Corsica dovrà svolgersi nel tempo più breve possibile. Ogni pullo sarà collocato in una scatola (o in un trasportino per piccoli animali) per il trasferimento, che sarà effettuato possibilmente di sera o di notte (nelle ore più fresche), mediante elicottero del CFS. Giunti a destinazione, i piccoli falchi pescatori saranno imboccati con pesce fresco e collocati nel più breve tempo possibile all'interno delle gabbie di rilascio, in gruppi di tre o quattro, in base alla loro dimensione corporea. Il comportamento e la corretta nutrizione dei pulli saranno controllati mediante regolari osservazioni, in modo particolare durante i primi giorni successivi al rilascio. I giovani saranno nutriti almeno due volte al giorno, con pesci freschi tagliati a pezzi, appartenenti a varie specie. Questo consentirà ai pulli di nutrirsi con il minimo spreco di pesce e il minimo disturbo umano. Il cibo non consumato verrà rimosso ogni giorno, per prevenire l'infezione da Salmonella (*Salmonella typhimurium*).

Per la corretta conduzione di tutte le operazioni di preparazione del cibo sarà allestita una stanza munita di frigo e freezer, con acqua corrente, dove verrà tagliato e conservato il pesce. La pulizia di coltelli, contenitori, ecc. sarà scrupolosa.

In prossimità delle gabbie saranno collocate due-tre piattaforme, ad una distanza di poche decine di metri, in posizione aperta. Dopo il rilascio il pesce verrà posto su queste piattaforme, larghe circa un metro quadrato e coperte di *Posidonia*.

I giovani falchi volano a circa 52 giorni di età, quindi gli uccelli saranno rilasciati dopo circa tre settimane dall'arrivo ai nidi artificiali. Ciò avverrà con circa 10-14 giorni in ritardo sul normale tempo dell'involo. Questo riduce al minimo i problemi dei primi voli e permette alle penne timoniere di essere sufficientemente rigide, per sostenere piccole trasmittenti radio.

Il giorno precedente il rilascio in ogni falco, che sarà pesato, controllato e misurato, verrà applicata la radio trasmittente VHF. L'uscita dovrà avvenire in modo spontaneo, senza traumi: una volta aperta la voliera, saranno infatti i falchi a decidere quando spiccare il primo volo. Al momento del rilascio, le gabbie e i piccoli saranno osservati con cannocchiali da almeno 800 metri. Da questo stadio i falchi pescatori saranno monitorati regolarmente mediante osservazione diretta e radiotelemetria.

Al momento del pasto, il personale si recherà con un veicolo alla base dei nidi-mangiatoia per mettere del pesce fresco con l'aiuto di una scaletta e poi allontanarsi rapidamente per lasciare che i falchi volino al nido per mangiare. L'alimentazione verrà continuata fino a quando ci saranno falchi pescatori nell'area. L'istinto di pescare si svilupperà naturalmente.

Gli individui presenti nell'area saranno monitorati mediante segnali radio e osservazioni degli anelli. Particolare attenzione verrà posta relativamente alle date di partenza per la migrazione.

Al fine di favorire la riuscita del progetto, considerata l'ampia valenza conservazionistica di buona parte della costa della Toscana meridionale per la specie, saranno presi contatti con gli enti gestori di altre aree protette per la costruzione di ulteriori nidi artificiali in aree prossime al Parco (Riserva Naturale Provinciale "Diaccia Botrona", Oasi WWF Laguna di Orbetello, Oasi WWF Lago di Burano, Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano).

Ophrys bombiliflora Link
Foto "Il Graffio", Follonica

Trekking... che passione!
(la natura con i "sei" sensi)

Lettera firmata

Quante volte, durante le nostre più o meno lunghe vacanze, veniamo totalmente presi dall'affannosa corsa a visitare località turistiche famose, borghi medievali, splendide città d'arte, senza però mai soffermarsi a cogliere la bellezza altrettanto dignitosa dello sfondo naturale che sta intorno? Quello che un gruppo *trekking* può offrire a chi ha voglia di farsi coinvolgere, è l'opportunità di staccarsi dal quotidiano per immergersi e vivere il fascino, le emozioni e lo stupore che solo un ambiente naturale sa regalare (Fig. 1). È un vero spettacolo per gli occhi, un ottimo meccanismo di difesa contro lo *stress* di tutti i giorni, un grande regalo che ciascuno di noi può fare a se stesso per elevarsi spiritualmente e per recuperare quei valori e quella fantasia dimenticati eppure essenziali per una migliore qualità della vita.

Da oltre 10 anni ho la fortuna di percorrere in lungo e in largo la meravigliosa terra toscana, spaziando dalla selvaggia costa (Fig. 2) alle morbide colline dell'entroterra, dove in primavera la macchia mediterranea è ingentilita da splendide fioriture (orchidee, anemoni, ranuncoli, primule, viole, ciclamini, biancospini, cisti), o alle isole dell'arcipelago che, incorniciate da un mare color smeraldo, racchiudono in sè quanto di più stupendo si possa trovare in natura. E di questo peregrinare (Fig. 3), ciò che maggiormente continua ad affascinarmi sono l'aspetto a volte avventuroso dei percorsi, la diversità dei paesaggi, la possibilità di incontri inaspettati ed inconsueti, la possibilità di vedere con occhi nuovi ciò che nuovo non è, il respirare un'aria fatta di allegria, amicizia e comuni interessi. La prima regola che si impara non è tanto quella di dotarsi di un adeguato e pur necessario abbigliamento, quanto piuttosto di avere uno

Fig. 1 - Una passeggiata nei boschi di Montioni, presso Suvereto (Livorno)

Fig. 2 - Panorama dal sentiero dei Cavalleggeri nel Promontorio di Piombino (Livorno).

stato d'animo giusto, la capacità di prestare attenzione alle piccole ma grandi cose e la disponibilità a dedicare tempo per trovarne. Piano piano la natura, senza che neppure ce ne rendiamo conto, con i suoi influssi benefici, le tante energie sottili e, talvolta, la sua dirompente forza e violenza, educa, modella, rigenera e rimette in equilibrio con se stessi e con il cosmo (Fig. 3). Si, perchè la natura è fuori ma anche dentro di noi, ed occuparsene vuol dire occuparsi di noi stessi. Lo spazio che la natura ci regala non è dunque soltanto quello fisico ma anche e, soprattutto, quello interiore.

Abbandonarsi alla natura vuol dire sia appassionarsi, sorprendersi, attivare e raffinare i sensi ed il gusto estetico, sia recuperare l'intuito ed il "selvatico" che è dentro di noi, imparando l'arte di tacere per dare voce unicamente al linguaggio del silenzio (Fig. 4). Saremo così in grado di apprezzare con occhi diversi: ruderi di antiche torri su colline che guardano rigogliose vallate o su dirupi a picco sul mare; panorami fascinosi con tramonti quasi surreali; maestà di alberi secolari; solennità di

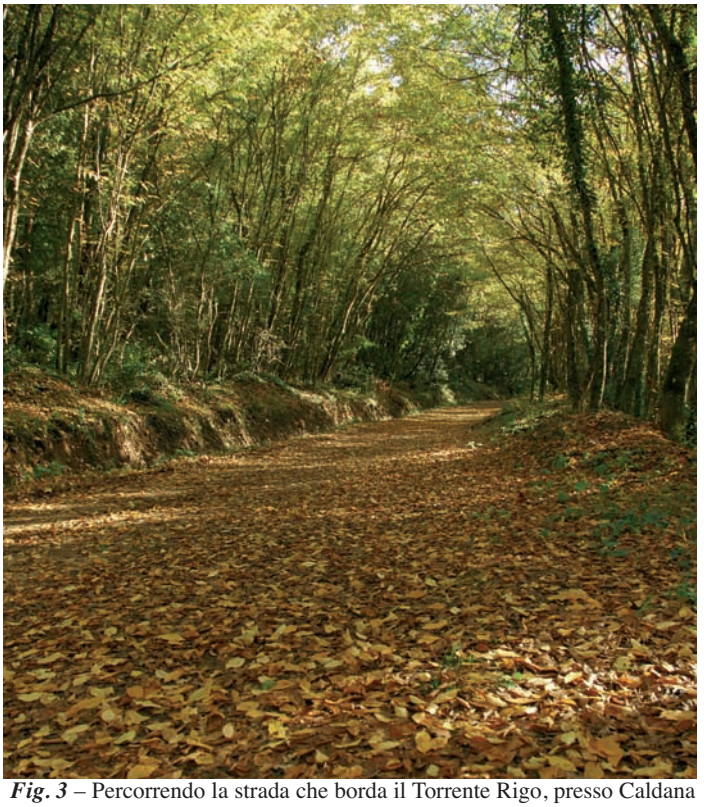


Fig. 3 – Percorrendo la strada che borda il Torrente Rigo, presso Caldana (Grosseto).

Fig. 4 – Giochi di nubi sulle colline di Tirli, ripresi da Vetulonia (Grosseto).

silenzi interrotti solo dal fruscio delle fronde mosse dal vento, dal cinguettio degli uccelli o dal gorgoglio dell'acqua dei tanti ruscelli; profumi muschiati che si fanno più intensi dopo la pioggia; luci filtrate attraverso i rami ed il fogliame che creano suggestivi giochi di ombre, colori delicati e violenti che si mischiano con sapiente armonia nelle tavolozze delle diverse stagioni; gocce di pioggia che, cadendo qua e là, acquistano musicalità e si trasformano in vere e proprie melodie; rumori antichi e dolci del mare; raggi di sole sulla rugiada del mattino; dune di sabbia addossate a verdeggianti pinete. E poi... ancora il vento tra i capelli, il sapore del bosco, la morbidezza di un prato dove il soffermarsi a riposare puo' regalare, proprio come in una fiaba, un attimo di sospeso incantamento.

Fig. 5 - Alberi in veste autunnale nelle Bandite di Scarlino (Grosseto).

La natura è veramente da "guardare", "odorare", "gustare", "toccare", "ascoltare" e, soprattutto, "penetrare" nella sua essenza (Fig. 5) in un rapporto quasi simbiotico, così da poterla completamente capire, amare e rispettare. Solo in questo modo potremo sentirci parte integrante del bene immenso che essa rappresenta e che gratuitamente e totalmente offre a noi.

La parola all'immagine

La parola all'immagine

Ophrys insectifera Linné
Foto "Il Graffio", Follonica

Dal lavoro dell’uomo, la magia di linee, spazi e colori nella terra toscana

Territorio di Pienza.

Territori di Pienza (in alto) e di Asciano (in basso).

Territorio di Asciano.

Territorio di Ribolla nella maremma grossetana,in alto. Territorio di San Quirico d'Orcia,in basso.

Territorio di Ville di Corsano, in alto. Territorio di Torrenieri, in basso.

Orchis italica Poiret
Foto "Il Graffio", Follonica

L'acanto, ovvero quando la natura si incontra con il mito, con l'arte e con la scienza

Marcello Pacciani
Via Poggibonizio, 4 – 53036 Poggibonsi (Siena)

L'acanto nel mito e nell'arte

Narra la leggenda che Acanto era una bellissima e giovane Ninfa (*) di cui si invaghì Apollo. Acanto ricambiò l'amore e il dio volle regalarle l'immortalità trasformandola in un fiore di pari bellezza.

Forse per questo ed anche perché la troviamo spesso come ornamento nelle stele dei monumenti sepolcrali (Fig. 1) la pianta di acanto, nella simbologia pagana prima e in quella cristiana poi, è legata all'immortalità dell'anima. Numerosi sono stati i motivi che hanno fatto dell'acanto un elemento costantemente usato nell'arte decorativa dell'antichità classica: la bellezza, la forma agile, aggraziata ed elegante, le foglie profondamente incise e dai margini sinuosi, i fiori grandi e disposti in lunghe spighe. Utilizzato poi nell'arte romanica, gotica, rinascimentale, barocca e neoclassica, subirà numerose rielaborazioni rimanendo fedele alle sue caratteristiche essenziali.

Fig. 1 – Ornamento a bassorilievo di acanto in monumento sepolcrale.

Nell'architettura greca del primo periodo, troviamo l'acanto raffigurato con foglie e fiori abbastanza fedeli a quelli reali, incisi o scolpiti a rilievo su stele funerarie o su cuspidi di frontoni dei templi. È con Callimaco, orafo vissuto nel V secolo a.C., che l'acanto diventa il requisito fondamentale ed insostituibile del capitello corinzio (ad esempio nel monumento di Lisicrate ad Atene ed in molti altri).

Il capitello corinzio (Fig. 2) e l'acanto verranno impiegati assai diffusamente dai Romani soprattutto verso la fine del periodo repubblicano ed in quello imperiale di massimo splendore con interpretazioni stilistiche distanti dall'acanto greco: le foglie presentano alle estremità un taglio più arrotondato e si allargano fino ad assomigliare a quelle di una quercia. Un buon esempio è visibile nel foro di Augusto a Roma.

Fatto proprio dall'arte romanica, lo troviamo spesso quale ornamento nei capitelli del coro delle chiese, dove di regola sono custodite le reliquie dei santi cui è promessa la resurrezione, e negli architravi delle anguste porte che consentivano l'accesso dalle chiese ai piccoli cimiteri.

In Val d'Elsa vanno segnalate almeno due chiese romaniche, una più bella dell'altra, che sono di per sé inestimabili tesori d'arte e che custodiscono opere architettoniche dov'è raffigurata la pianta di acanto: le pievi di Mensano e di Cedda. All'interno della prima troviamo quattordici capitelli in pietra serena su colonne monolitiche, la maggior parte dei quali (i più belli) opera del maestro Bonamico: un artista che alcuni sostengono collaboratore del celebre Biduino al quale è attribuito il pulpito del duomo di Volterra. Quasi tutti questi capitelli sono scolpiti ad altorilievo con foglie e fiori di acanto dai quali spuntano intere figure di animali o teste umane e animali. Sebbene alcuni siano di fattura modesta, i più sono assai elaborati e finemente scolpiti, con fiori e foglie che si arricciano ai bordi ed alle estremità. Nella pieve di

Cedda c'è un architrave di rara bellezza estetica che sovrasta la piccola porta (ora rimurata) di accesso al campanile e, da questo, al cimitero. L'architrave, tra i vari simboli scolpiti e quasi disegnati a bassorilievo, presenta l'acanto per sezioni: cosa unica nelle chiese romaniche della Val d'Elsa. In queste due pievi gli autori sembrano aver voluto rispettare i principali canoni dell'arte romanica: compiacimento dell'ornato, rifiuto degli spazi vuoti, utilizzo delle figure come simboli e loro adattamento all'angusto spazio disponibile.

Nell'arte gotica, gli esempi più belli e significativi sono nel duomo di Siena (seconda metà del sec. XIII) e nel contiguo battistero di San Giovanni, opera stupenda di Giacomo del Pellicciaio (1332). Quest'ultimo si è ispirato all'acanto spinoso (assai diffuso nel Bacino del Mediterraneo), il quale ha pannocchie slanciate, fiori dai petali appuntiti e foglie lanceolate con nervature profondamente incise. A Siena si può senza dubbio affermare che l'acanto spinoso sia stato interpretato con ineguagliabile maestria.

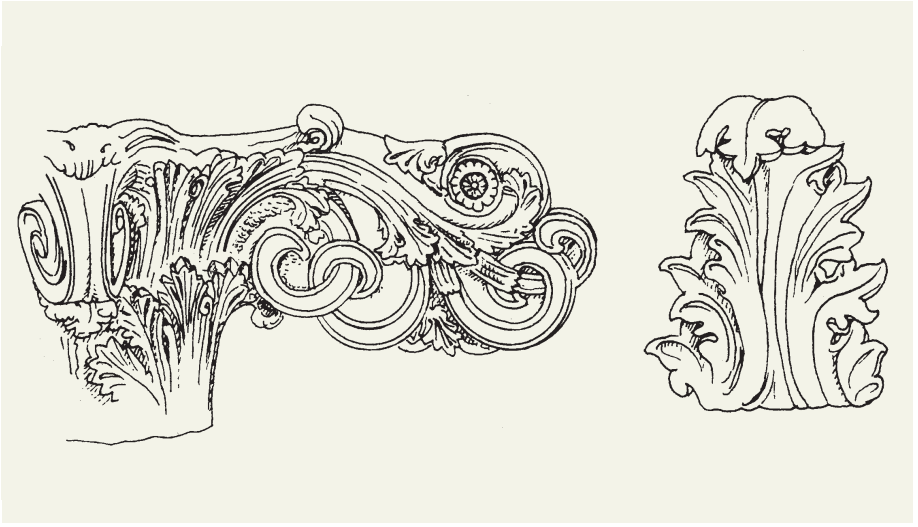


Fig. 2 – Ornamenti di acanto tipici dello stile corinzio dell'arte classica.

Se all'inizio del Rinascimento furono utilizzate le forme svelte ed acute dell'arte gotica, in seguito l'acanto perderà queste caratteristiche per assumere, in tutto il Quattrocento e poi nel Cinquecento, lineamenti morbidi e addolciti e un aspetto più elegante e signorile. In questi due secoli i numerosi artisti hanno utilizzato le caratteristiche dei fiori e delle foglie dell'arte greca e romana (rielaborate dalle numerose esperienze scaturite dalle tormentate ma feconde vicende del lungo medioevo) vivacizzandole col nuovo fervore dell'anima umanistica che, con il suo amore per il bello, diede un'impronta indelebile a tutta l'arte successiva, dal barocco al neoclassico.

L'acanto in natura, nella coltivazione e nella farmacopea

Sebbene esistano numerose specie di acanto, solo tre sono diffuse in tutto il Bacino del Mediterraneo. Si tratta di piante perenni con grandi foglie, fusto eretto e robusto, infiorescenza a spiga e fiori dall'aspetto tubuloso, ma con tre brattee alla base, il calice bilabiato e la corolla unilabiata. Coltivate nei giardini a scopo ornamentale e negli orti botanici, le tre specie sono *Acanthus balcanicus*, *A. mollis* e *A. spinosus*.

La prima è originaria dell'Europa balcanica. Alta 60-90 cm, si presenta con foglie lunghe, ondulate, profondamente incise e di colore verde scuro. I fiori, di colore lilla, sono riuniti in spighe lunghe 30 cm circa e spuntano nei mesi di giugno e luglio.

La seconda (Fig. 3) è indigena dell'Italia. Alta tra i 50 e i 120 cm, essa ha foglie lucide a base cuoriforme, non spinose e dai margini sinuosi. I fiori, bianchi o bianco-rosei e disposti in spighe lunghe 40–50 cm, spuntano in luglio e agosto. Questa specie è conosciuta anche come Branca ursina (per la sua lontana e presunta somiglianza alle zampe dell'orso) e come Erba per le piaghe (perché utilizzata nella medicina popolare per la cura delle ustioni).

La terza, originaria dell'Europa orientale, è alta circa 1,30 m e si distingue dalla precedente per la presenza di spine sulle foglie pennatosette. La specie, che fiorisce nei mesi di giugno e luglio, è quella a cui si sono generalmente ispirati gli artisti del gotico.

Per quanto riguarda la coltivazione dell'acanto, è necessario disporre di un terreno in posizione soleggiata o almeno sufficientemente illuminata.

Fig. 3 *– Acanthus mollis,* specie indigena dell'Italia (da Fenaroli, 1985).

Occorre scavare una buca profonda, effettuarvi un drenaggio con ghiaia e sabbia (fino ad un'altezza di una ventina di cm) e riempire il tutto di composta. Le piantine, interrate fra ottobre e marzo, vanno lasciate crescere ed infoltire per poi diradarle; dopo la fioritura, all'altezza del suolo si tagliano i fusti. I fiori essiccati hanno una buona conservazione, per cui possono essere utilizzati a lungo come decorazioni nelle abitazioni.

La moltiplicazione può avvenire per divisione e per semina. Nel primo caso, tra ottobre e marzo si espiantano i cespi per trapiantarli altrove in un terreno adeguatamente preparato. Nel secondo caso si spargono i semi in un vaso capiente, concimato e riempito con una composta di semi in letto freddo. Quando spuntano le foglie, le piantine vengono "ripicchettate" e, nella primavera successiva, messe a dimora definitiva nel terreno.

Fin dall'antichità l'acanto è stato utilizzato come diuretico, contro le infezioni della vescica e come rimedio preventivo della tubercolosi polmonare. Ancora oggi viene usato nelle situazioni patologiche lievi, come ad esempio per preparare cataplasmi e infusi per gargarismi. I risultati migliori si ottengono con i fiori colti completamente sbocciati e fatti essiccare lentamente all'ombra in luogo asciutto; viceversa le foglie e le radici vanno essiccate in luogo abbastanza caldo. Non sono poche le patologie per le quali la pianta mostra efficacia.

Angine. Si mettono 15 grammi di fiori secchi in un litro d'acqua e si fa bollire il tutto per 5 minuti. Il preparato, filtrato accuratamente e dolcificato con miele d'acacia, è usato per gargarismi.

Occlusioni flogistiche delle vie respiratorie. Si segue la stessa preparazione, dopodiché per decongestionare si fanno inalazioni di vapore coprendosi la testa con un asciugamano.

Contusioni. Si usano foglie essiccate, cotte nell'acqua e ridotte in poltiglia. Il decotto va messo in un sacchetto di lino o cotone e applicato sulla lesione solo quando non vi è lacerazione della pelle. L'applicazione deve durare almeno un'ora.

Dermatosi. Si mettono 100 grammi di foglie essiccate in un litro d'acqua e si fa bollire il tutto per 15 minuti. Si imbeve un panno di lino o del cotone nel decotto ottenuto e si deterge la pelle mattina e sera con molta delicatezza.

Cattiva digestione, spesso accompagnata da gonfiore, pesantezza e acidità di stomaco. In un litro d'acqua bollente si lasciano per 5 minuti 10 grammi di foglie essiccate. L'infuso va bevuto quasi freddo e in più volte, nella dose di una tazza al giorno.

Punture di insetto o di ragno. Si fa bollire in acqua una certa quantità di foglie essiccate, dopodiché in un mortaio si riduce in poltiglia il decotto. Il cataplasma così ottenuto va applicato a temperatura ambiente sulle zone interessate dalle punture, massaggiando con delicatezza.

Dilatazione dei pori della pelle e rilassamento dei muscoli della faccia. Si prepara un decotto di radici essiccate e si riduce in poltiglia. Questa deve essere spalmata sul viso in modo uniforme e

lasciata per 1 ora almeno due volte al giorno.

Ustioni. Con foglie essiccate, cotte e ridotte in poltiglia si prepara un cataplasma da applicare a lungo sulla scottatura spalmando delicatamente con la punta delle dita.

(*) Le Ninfe, che nel loro significato originario erano fanciulle giunte all'età matura per le nozze, nella mitologia greco-romana divennero divinità che la fantasia associò alle forze elementari della natura. Si immaginava che durante le ore più calde del giorno queste divinità uscissero dai monti (Oreadi), dalle valli (Napee), dai laghi (Limniadi), dal mare (Nereidi e Oceanidi), dagli alberi (Driadi e Amadriadi) e dalle fontane (Naiadi) per popolare ogni luogo. Insieme con loro danzavano Satiri e Sileni, per metà animali e per metà uomini, saltellanti su zampe caprine. Tra questi si evidenziava Pan, il dio dei pastori, che correva per monti e valli dando la caccia alle fiere; al calar della sera tornava alla sua dimora suonando la zampogna e con il suo dolce suono accompagnava le Ninfe che festanti gli danzavano attorno.

Testi consultati

A.A.V.V. (1951) - *Enciclopedia Italiana*: "Acanto" (1, 174-178), "Apollo" (2, 671-679), "Ninfe" (4, 835). Treccani. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.

A.A.V.V. (1990) - *Il grande libro dei fiori e delle piante*. Selezione del Reader's Digest, Milano.

A.A.V.V. (1979) - *Segreti e virtù delle piante medicinali*. Selezione del Reader's Digest, Milano.

A.A.V.V. (1985) - *La via francigena nel senese. Storia e territorio*. Salimbeni, Firenze.

A.A.V.V. (1983) - *Una farmacia preindustriale in Valdelsa*. Industrie Grafiche Federighi, Certaldo.

Apollodoro (1996) - *I miti greci*. Mondadori, Verona.

Bonnefoy Y. (1989) - *Dizionario della mitologia e delle religioni*. BUR, R.C.S. Rizzoli, 1, 2, 3, Milano.

Concetti G. (1994) - *Medioevo in Valdelsa*. Arti Grafiche Nencini, Poggibonsi.

Cotterel A. (1991) - *Dizionario della mitologia*. Mondatori, Milano.

Du Champeaux G. & Sterelhx S. (1984) - *I simboli del Medioevo*. Jaca Book, Milano.

Fenaroli l. (1985) – *Guida alla flora mediterranea*. Giunti Martello, Firenze.

Graves R. (1992) - *La dea bianca*. Adelphi, Milano.

Kuhne A. (1988) - *Segni e Simboli*. Edizioni Paoline, Torino.

Impelluso L. (2003) - *Eroi e dei dell'antichità*. Electa, Venezia.

Leriche-Andrieu F. (1984) - *L'arte romanica*. Edizioni Avvenire, Milano.

Moretti I. & Stopani R. (1968) - *Chiese romaniche in Valdelsa*. Salimbeni, Firenze.

Panini G.G. (1994) - *Atlante della mitologia*. Mondadori, Milano.

Poli V. (1985) - *Valdelsa romanica*. Arti Grafiche Nencini, Poggibonsi;

Senesi A. (1951) - *I capitelli di Mensano*. Edizioni Cantagalli, Siena;

Terzaghi N. (1950) - *Miti e leggende (del mondo greco e romano)*. Sandron, Firenze.

Vernent J. P. (2000) - *L'universo, gli dei, gli uomini. Il racconto del mito*. Einaudi, Milano.

Ritrovamento di minerali con “terre rare” e torio nella Montagnola Senese

Cesare Betti, Giancarlo Pagani, Renzo Regoli
Gruppo Mineralogico Senese - Via Liguria 21 - 53100 Siena

La Montagnola Senese non è conosciuta solo per i castelli medievali, le pievi romaniche ed i piccoli borghi caratteristici (Tonni, Gallena, Tegoia, Simignano, ecc.), ma anche per la ricca fauna selvatica, i boschi di lecci e di castagni, le numerose grotte carsiche, i marmi con le loro varietà di minerali, le “terre rosse” ed i “sassi spugnosi” di Calcare cavernoso (che spesso adornano i giardini privati e pubblici della zona). Essa costituisce, quindi, un “mondo” naturale piuttosto completo in grado di soddisfare le esigenze di qualunque gruppo naturalistico. Tra l’altro, di recente, i soci della Sezione di Siena del Club Alpino Italiano, grazie ad un progetto finanziato dall’Amministrazione Provinciale, hanno tracciato sentieri (e compilato la carta relativa) che permettono di percorrere la Montagnola in lungo e in largo e scoprire suoi aspetti del tutto interessanti.

Le rocce metamorfiche della Montagnola Senese sono state oggetto di qualche “attenzione mineralogica” (peraltro fugace e superficiale) solo a partire dalla metà degli anni ’80 del secolo scorso. L’unica località realmente “battuta” dagli appassionati è stata, comunque, la cava abbandonata nei pressi di Celsa, visitata in particolare per la presenza di cristalli di quarzo di discrete dimensioni e di gradevole aspetto estetico. Fino all’anno 2000, vi risultavano segnalati soltanto quarzo, wad, limonite e caolino. Una svolta decisiva per la valorizzazione di questa località fu determinata nella primavera del 2003, allorché in alcune vene di quarzo furono scoperti microscopici cristalli di rutilo ed anatasio (Bazzoni & Capperi, comunicazione personale).

A seguito di questa segnalazione, le ricerche sono state da noi intensificate non soltanto nelle vene di quarzo della cava, ma anche in affioramenti limitrofi sino ad allora ignorati o sconosciuti. I risultati sono stati subito incoraggianti: oltre a quella di rutilo ed anatasio, è stata riscontrata la presenza di tormalina, cinabro, ilmenite, ematite, pirite, dolomite e muscovite. La sorpresa maggiore, comunque, è giunta con il rinvenimento di campioni di allanite (famiglia degli epidoti) e monazite contenenti “terre rare” e torio, ovvero elementi non prima segnalati nel nostro territorio e che, in questa breve trattazione, cogliamo l’occasione di far conoscere meglio.

Contesto geologico della Montagnola e descrizione dei minerali in essa osservabili

La Montagnola Senese è costituita da colline

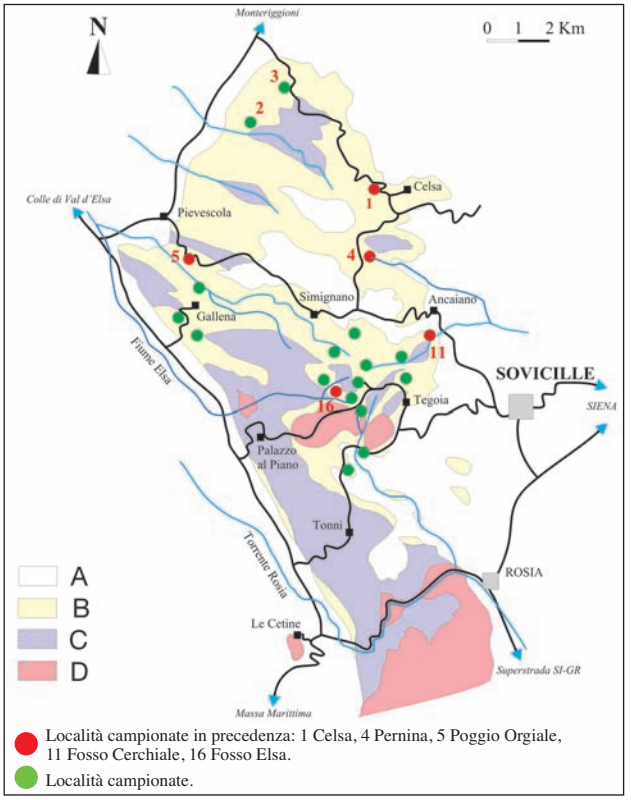


Fig. 1 - Schema geologico e ubicazione degli affioramenti di quarziti nella Montagnola Senese. A: formazioni non metamorfiche; B: rocce scistoso-carbonatiche e silicee (filladi, quarziti e calcescisti); C: rocce carbonatiche (dolomie e marmi); D: gruppo del Verrucano (metaconglomerati, metarenarie e metapeliti).

Fig. 2 - Epidoto, varietà "allanite", in cristalli di mm 2-3, su quarzo. Fosso Ancaiano.

ubicate poco ad ovest di Siena, le quali rappresentano il tratto settentrionale di un elemento morfostrutturale che attraversa la Toscana meridionale dall'alta Val d'Elsa fino al promontorio dell'Argentario. Questo elemento, con andamento approssimativamente Nord-Sud, è noto in letteratura come "dorsale Monticiano-Roccastrada" ed è caratterizzato da estesi affioramenti di rocce metamorfiche di basso grado. In particolare, vi affiorano: rocce metamorfiche (marmi) e dolomie derivate da depositi carbonatici di ambiente marino poco profondo e di età compresa tra i 200 ed i 180 milioni di anni (quindi riferibili all'intervallo Triassico terminale-Giurassico Inferiore); rocce metamorfiche (principalmente filladi e calcescisti) derivate da sedimenti carbonatici e silicei di ambiente marino profondo e di età compresa tra i 120 e gli 80 milioni di anni (cioè appartenenti al Cretacico).

Il metamorfismo che ha interessato queste rocce è stato causato dagli eventi deformativi connessi con l'evoluzione tettonica della catena alpino-appenninica e verificatisi tra 27 e 14 milioni di anni fa. Durante questi eventi le successioni interessate da metamorfismo sono state intensamente fratturate, per cui oggi esse si presentano attraversate da vene di quarzo e di calcite. Più in particolare, nei marmi è possibile osservare numerose fratture riempite da calcite in associazione con diversi minerali, talvolta ottimamente cristallizzati, mentre nelle filladi e quarziti sono comuni vene di quarzo ricche di minerali rari, sebbene di modeste dimensioni.

In circa due anni di ricerche, proprio nelle vene di quarzo delle formazioni scistoso-silicee sono state osservate associazioni mineralogiche finora mai rilevate nella Montagnola. Queste associazioni mostrano alcune specie minerali le cui caratteristiche principali sono riportate qui di seguito.

Albite – Cristalli con abito tabulare, da incolori a lattei, aventi dimensioni comprese tra 1 e 5 mm.

Allanite (Fig. 2) – Nella cava di Celsa sono osservabili cristalli con abito prismatico allungato, di dimensioni comprese tra 0,4 e 0,6 mm e di colore nero-verdastro; a Fosso Cerchiale, Fosso Elsa e Poggio Orgiale sono presenti individui dello stesso colore, ma con abito prismatico-tabulare e dimensioni variabili tra 2 e 5 mm. Il minerale è associato a quarzo, rutilo, clorite, ematite ed anatasio. Dal punto di vista chimico, esso risulta essere un silicato idrato di cerio, lantanio, calcio, alluminio e ferro. Attraverso particolari analisi, l'allanite offre informazioni circa l'età del metamorfismo che ha agito sulla roccia che lo ospita (in questo caso le quarziti).

Anatasio (Figg. 3, 4) – A Celsa il minerale è reperibile in rarissimi microcristalli (dimensioni inferiori a 0,5 mm) con perfetto abito bipiramidale, di colore bruno-rossastro e con viva lucentezza adamantina, posizionati su spalmature di muscovite presenti all'interno di piccole geodi nella quarzite. A Pernina i microcristalli bipiramidali risultano associati a calcite, calcopirite e carbonati di rame. Nel Fosso Cerchiale si possono osservare anche individui con abito "a tronco di piramide", talvolta quasi tabulare, di colore da giallo-arancio a rossastro, con dimensioni massime di 1 mm ed in associazione con quarzo, pirite, marcasite, limonite-goethite, rutilo, allanite e cinabro. Nel Fosso Elsa i piccoli cristalli di anatasio (con dimensioni comprese tra 1 e 4 mm) presentano abiti insoliti (cubico, tabulare, sferoidale), numerosissime faccette, forte lucentezza e colore variabile dal giallo-limpido all'arancio, dal rosso al bruno e dal verde al grigio; essi sono associati a quarzo, rutilo ed ematite. In un cristallo di anatasio di quest'ultima

Fig. 3 - Anatasio: cristallo isolato (mm 1) di colore giallo miele su quarzo con limonite e muscovite. Fosso Ancaiano.

Fig. 4 - Anatasio: cristallo (mm 2) di colore verde su quarzo. Fosso Elsa.

località, è stato altresì individuato un alto contenuto (fino al 40%) di ittrio che potrebbe essere connesso a una sostituzione del titanio (il minerale è stato da noi denominato "Y-anatasio"). Lo stesso campione risulta contenere inoltre una significativa quantità di disprosio.

Calcopirite – Cristalli bisfenoidali o tetraedrici, di dimensioni non superiori ai 5 mm e di colore bruno-nerastro (perché completamente limonitizzati), associati a patine verdastre di carbonati di rame.

Cinabro – Estremamente raro, è stato individuato unicamente nel Fosso Cerchiale in associazione con limonite-goethite, quarzo, anatasio, pirite, ematite e rutilo. Si presenta in forma di granuli o di perfetti cristalli romboedrico-pseudocubici di colore rosso-intenso e di dimensioni comprese fra 1 e 3 mm.

"Caolino" – Si trova sotto forma di incrostazioni e masserelle biancastre di aspetto terroso nella quarzite alterata della cava di Celsa.

"Clorite" – È presente in plaghe e rosette formate da piccoli cristalli verdi con abito lamellare e contorno esagonale, disposti a ventaglio ed associati a quarzo affumicato.

Dolomite (?) – Appartengono con molta probabilità a questa specie mineralogica le impronte (rese ben evidenti da patine limonitiche che ne tracciano il contorno) di cristalli romboedrici talvolta visibili sia sulla quarzite che sul caolino di Celsa. Nelle altre località sono stati rinvenuti cristalli romboedrici di colore bruno o arancio e di dimensioni inferiori al centimetro.

Ematite – È individuabile praticamente dovunque affiori la quarzite, sotto l'aspetto di formazioni lamellari, talora "micacee", di colore grigio-nero e di viva lucentezza metallica. Talora è presente anche in cristalli tabulari millimetrici, spesso associati a "rosa".

Fuchsite – Questa varietà cromifera di muscovite è stata rinvenuta nella quarzite di Celsa, sotto forma di microscopiche formazioni lamellari di colore verde-chiaro.

Ilmenite – Cristalli tabulari o lamellari, di colore grigio-nero e di lucentezza metallica, in epitassia con ematite e rutilo.

Goethite - "Limonite" – Assai comuni dovunque, sotto forma di masserelle compatte o terrose di colore bruno o giallastro.

Marcasite – È presente in "sciami" di cristalli millimetrici ad abito rombico-piramidale, iridescenti e di colore bruno-nero in quanto completamente limonitizzati.

Monazite (Figg. 5, 6) – Specie minerale assai poco diffusa nell'area della Montagnola, consiste

Fig. 5 - Monazite-Ce: cristallo prismatico verde (di circa 3 mm), striato trasversalmente, su quarzo. Cava di Celsa.

Fig. 6 - Monazite-Ce: aggregato di cristalli (mm 2-4) verdi-giallastri, marcatamente metamittici. Cava di Celsa.

in un fosfato di cerio, lantanio, neodimio e torio e, analogamente all'allanite, si presta alle datazioni assolute delle rocce in cui si trova. I suoi cristalli, generalmente molto alterati ed associati con rutilo, quarzo ed albite, sono di abito prismatico-tabulare a contorno esagonale o prismatico-tozzo a "barilotto" ed hanno colore verde-giallastro e dimensioni comprese tra 0,5 e 4 mm.

Muscovite – È visibile in litoclasi e geodi nella quarzite della cava di Celsa, sotto forma di spalmature costituite da microscopiche formazioni lamellari di colore giallo-crema e di lucentezza madreperlacea.

Pirite – Presente in geodi all'interno delle quarziti di tutte le località visitate, nella maggior parte dei casi risulta incipientemente o completamente limonitizzata, per cui assume colori bruni più o meno scuri anziché giallo-metallici. L'abito dei cristalli può variare dal cubico (talvolta distorto) al pentagonododecaedrico (talora combinato col cubo), dall'ottaedrico al cubottaedrico. Le dimensioni degli individui non superano di norma il millimetro.

Quarzo (Fig. 7) – In forma sia compatta che di piccoli cristalli biancastri, è estremamente comune in tutti gli affioramenti. Poco frequenti, invece, sono i cristalli incolori di abito prismatico allungato e di dimensioni superiori ai 30 mm, non di rado includenti rutilo ("quarzo rutilato"). Decisamente rari, infine, sono gli individui "affumicati" con inclusioni di clorite.

Rutilo (Figg. 8,9) – È visibile nelle geodi e litoclasi della quarzite sotto forma di cristalli di dimensioni normalmente comprese tra 1 e 8 mm (eccezionalmente fino a 15 mm) ed aventi abito prismatico-aciculare (talvolta molto allungato) e colore giallo-oro, giallo-brunastro o bruno-rossastro. Talvolta gli individui aciculari sono inclusi in limpidissimi cristalli di quarzo. Sono state osservate anche epitassie con ilmenite ed ematite. Mentre gli individui più tipici sono osservabili nella cava di Celsa, a Fosso Cerchiale si hanno individui neri piuttosto tozzi di 2-4 mm ed a Fosso Elsa individui sottili lunghi fino a 8 mm e di colore rosso o dorati (varietà "sagenite").

Siderite - Cristalli lenticolari di colore bruno-nerastro e generalmente non superiori ai 2 mm.

Tormalina – Forma esili cristalli prismatici allungati, di colore nero-verdastro con tonalità azzurrognole. Gli individui, di dimensioni microscopiche (0,1-0,2 mm), si trovano al contatto fra le quarziti e gli scisti, entro masse detritiche bianco-grigiastre di frammenti quarzosi e di fillosilicati caolinizzati.

Fig. 7 - Cristallo di quarzo "ialino" di circa mm 8. Cava di Celsa.

"Wad" – Si presenta in formazioni dendritico-arborescenti di colore nero sulle superfici di frattura del quarzo compatto.

"Terre rare"

In origine, il termine "terre rare" era di prevalente derivazione mineralogica e concerneva un insieme di elementi - scandio, ittrio, lantanio, cerio, praseodimio, neodimio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, olmio, erbio, tulio, itterbio e lutezio - aventi tra loro evidenti analogie chimiche. Questi 16 elementi, pur trovandosi in natura abbastanza diffusi in basse concentrazioni, risultavano decisamente rari come costituenti di specie minerali distinte. In seguito, questo termine è stato impropriamente utilizzato come sinonimo della famiglia dei "lantanidi". Infatti, quest'ultima non è costituita dai 16 elementi sopra riportati, ma solo da 14 di essi (per l'esattezza dal lantanio al lutezio, cioè quelli caratterizzati dal possedere una configurazione con elettroni nell'orbitale interno *4f*). In questo breve articolo le "terre rare" sono considerate nella loro accezione originaria.

Gli elementi delle "terre rare" possiedono caratteristiche metalliche, sono paramagnetici (ovvero attratti da un magnete) e presentano generalmente numero di ossidazione +3. Essi danno luogo a sali che, in soluzione acquosa, manifesta-

Fig. 8 - Rutilo: fitto intreccio di esili cristalli aciculari (mm 2-4).Cava di Celsa.

no proprietà chimiche molto simili. È proprio questa similitudine di comportamento a rendere difficoltosa, partendo dai minerali, la separazione dei vari elementi.

Nei minerali rinvenuti nella Montagnola Senese sono stati individuati (tramite analisi S.E.M. con microsonda elettronica EDAX, che in ogni caso presenta un limite di "rivelabilità" degli elementi): ittrio, lantanio, cerio, neodimio e disprosio (ittrio e disprosio sono presenti in una particolare varietà di anatasio).

Degli elementi "rivelati" viene fornita qui di seguito una sintetica descrizione con proprietà ed impieghi.

Ittrio - Scoperto nel 1794 da Johan Gadolin, fu isolato per la prima volta da Friedrich Wöhler nel 1828. Il suo nome deriva da quello del villaggio svedese Ytterby (località che ha dato il nome anche agli elementi erbio, terbio e itterbio) da cui proveniva il campione del minerale *gadolinite* in cui fu riconosciuto. Esso presenta un colore grigio argenteo lucente. Grazie all'eccezionale affinità chimica per l'ossigeno, è utilizzato come additivo per superleghe ad altissima resistenza agli agenti ossidanti. Per questa sua affinità, se ridotto in polvere tende ad incendiarsi spontaneamente. Sotto forma di ossido, è impiegato come materiale ceramico per forni elettrici. Serve inoltre per riprodurre il rosso nei fosfori dei televisori a colori a tubo catodico.

Lantanio – L'elemento fu scoperto nel 1839 dallo svedese Carl Gustaf Mosander. L'origine del nome deriva dal greco *lanthànein* che significa "terra nascosta". È un metallo di colore bianco argenteo talmente tenero da essere tagliato con un coltello. Esposto all'aria si ossida rapidamente. È usato come additivo per l'acciaio al fine di aumentarne la malleabilità, la duttilità e la resilienza; aggiunto al molibdeno, rende quest'ultimo meno duro, fragile e sensibile agli sbalzi di temperatura; viene inoltre impiegato per produrre leghe fungenti da "spugne di idrogeno" e catalizzatori per il *cracking* del petrolio. L'ossido è utilizzato per la produzione di lenti pregiate (ottiche di fotocamere e telescopi) in quanto impartisce al vetro un elevato indice di rifrazione.

Cerio – Fu scoperto nel 1803 contemporaneamente da Jöns Jacob Berzelius e Wilhelm von Hisinger in Svezia e da Martin Heinrich Klaproth in Germania. Il nome è opera di Berzelius, che si ispirò a quello dell'asteroide Ceres, scoperto due anni prima. Il cerio è un metallo tenero e di colore argenteo che all'aria si ossida rapidamente. È un componente del Mischmetal, usato per la fabbricazione di pietrine per accendini, e di leghe per magneti permanenti. È impiegato nella produzione dell'acciaio come additivo per ridurre solfuri ed ossidi. È inoltre utilizzato come indurente per acciai inossidabili e nelle leghe al magnesio per ridurne la granularità ed aumentarne la resistenza al calore. Il suo ossido trova applicazione nelle reticelle di lampade a gas incandescente (unitamente a quelli di torio, lantanio, magnesio ed ittrio), nonché come abrasivo lucidante nell'industria del vetro.

Neodimio – Fu scoperto nel 1885 dal chimico austriaco barone Carl Auer von Welsbach, il quale tramite un'analisi spettroscopica lo individuò nel didimio insieme al praseodimio. Nel 1925 l'elemento fu isolato in forma pura. Il nome deriva

Fig. 9 - Cristalli di rutilo di mm 2 su quarzo. Cava di Celsa

dalle parole greche *neos* (nuovo) e *didimos* (gemello). Esso è un metallo di colore argenteo e lucente che, essendo estremamente reattivo (la polvere può addirittura incendiarsi spontaneamente), si ossida rapidamente se esposto all'aria. In metallurgia il neodimio serve per produrre magneti permanenti ad elevata forza coercitiva. Oltre che nella produzione di laser, l'ossido di questo elemento è utilizzato come colorante viola o viola-rossastro per vetri da occhiali, schermi per saldatori e filtri per telescopi. Alcuni suoi sali sono usati come coloranti per smalti.

Disprosio – Fu identificato per la prima volta nel 1886 da Paul Emile Lecoq de Boisbaudran; l'elemento tuttavia è stato isolato solo negli anni '50 del secolo scorso. Il nome deriva dal greco *dyspròsitos* che significa "difficile arrivarci". L'elemento è di aspetto lucente, tenero come il lantanio ma stabile se esposto all'aria. Esso è utilizzato nella realizzazione di materiali per laser**;** l'ossido di questo elemento, invece, è impiegato nei cementi dei reattori nucleari e nella produzione di *compact discs*.

Torio

Un altro elemento "inconsueto" (almeno nel nostro territorio) riscontrato nei minerali della Montagnola in cui erano presenti "terre rare" è il torio, un metallo di colore bianco argenteo appartenente alla serie chimica degli attinidi, quindi dotato di radioattività. Esso, sotto forma di fosfato, è un costituente della monazite unitamente a cerio, lantanio e neodimio.

Il torio fu scoperto da Jöns Jacob Berzelius nel 1828 e fu così battezzato dallo stesso chimico svedese in onore di Thor, dio nordico della guerra. Viene utilizzato: come materiale fertile per produrre combustibile nucleare; come additivo per produrre leghe di magnesio molto dure e resistenti ad alte temperature; per rivestire i fili di tungsteno di apparecchi elettronici. Sotto forma di ossido esso serve per: controllare la dimensione della grana del tungsteno usato nei filamenti delle lampadine; produrre crogioli da laboratorio per alte temperature (possiede infatti altissimo punto di fusione); produrre reticelle per lampade a gas; produrre lenti di alta qualità per macchine fotografiche e strumenti scientifici (aggiunto al vetro ne aumenta l'indice di rifrazione e ne diminuisce la dispersione).

Si ringraziano: Paolo Orlandi (Università di Pisa) e Alessandra Santagostino (Università di Siena) per le analisi SEM in microscopia elettronica EDAX; Alessandro Berto (Università di Siena) per le analisi diffrattometriche delle polveri; Andrea Scala per le analisi diffrattometriche a cristallo singolo; Cristiano Bazzoni e Mario Capperi per le prime segnalazioni di alcuni dei minerali descritti in questo articolo; Andrea Brogi per le informazioni geologiche.

Testi consultati

AA.VV. (1950) - *Enciclopedia Pomba*. UTET, Torino (IV ediz.).

AA.VV. (1965) - *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica Mondadori-McGraw-Hill*. 6. VI. Mondadori, Milano (III ediz.).

AA.VV. (1993-1997) – *Enciclopedia Microsoft Encarta 98*. Microsoft Corporation.

Betti C. & Pagani G. (1989) – *I minerali dei Marmi della Montagnola Senese*. Riv. Min. It., 1, 51-59; 2, 109-114.

Betti C. & Pagani G. (2000) – *Minerali del Senese*. Protagon, Siena.

Costantini A., Decandia F.A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1988) – *L'unità di Monticiano-Roccastrada fra la Montagnola Senese ed il Monte Leoni (Toscana meridionale)*. Atti Tic. Sc. Terra, 31, 382-420.

Giannini E. & Lazzarotto A. (1970) – *Studio geologico della Montagnola Senese*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 451–495.

Liotta D. (2002) – *Stratigraphic and structural outline of the Montagnola Senese area (Southern Tuscany)*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec. 2002/1, 705-713.

Repossi G. (1987) – *Primo incontro con i metalli*. Nardini, Firenze.

Siti internet di interesse per gli argomenti trattati

http://it.wikipedia.org/wiki/ (lantanidi, lantanio, cerio, neodimio, disprosio, torio).

La riproduzione di una popolazione di Anfibi nella provincia di Siena: il Tritone apuano (*Triturus alpestris apuanus*)

Silke Jantra, Elisa Bigliardi**, Rossana Brizzi***, Luana Paulesu**
Università degli Studi di Siena, *Dipartimento di Fisiologia, ** Dipartimento di Biologia evolutiva
Via Aldo Moro – 53100 Siena.
Università degli Studi di Firenze, ***Dipartimento di Biologia Animale e Genetica "Leo Pardi"
Via Romana, 17 – 50100 Firenze

Chi sono gli Anfibi?

Il termine "Amphibia" deriva dal greco e significa "a doppia vita". Infatti, la maggior parte di questi animali inizia la propria vita in acqua, dove vengono deposte le uova e dove si svolgono le varie fasi del loro sviluppo embrionale e larvale. Dopo aver completato la metamorfosi, gli adulti escono dall'acqua e continuano a vivere sulla terraferma (prevalentemente in ambienti umidi e protetti), ritornando nell'acqua solo per riprodursi. Poiché la loro pelle è molto sottile, essa non rappresenta una buona protezione dalle sensibili variazioni di temperatura. e umidità, le quali perciò costituiscono importanti fattori limitanti nella distribuzione geografica di questi animali. In Europa il ritmo di attività degli Anfibi segue la periodicità delle stagioni, trascorrendo generalmente i periodi freddi ed aridi in condizioni di riposo (rispettivamente ibernazione ed estivazione).

Attualmente gli Anfibi includono tre ordini: Anuri, Apodi e Urodeli. Gli Anuri (rane e rospi) sono privi di coda, che viene riassorbita durante la metamorfosi, e sono distribuiti in tutti i continenti eccettuata l'Antartide. Gli Apodi (cecilie o gimnofioni) sono privi di arti, popolano le regioni tropicali dell'emisfero australe e conducono vita essenzialmente sotterranea. Gli Urodeli (salamandre e tritoni) conservano la coda anche da adulti e vivono quasi esclusivamente nell'emisfero boreale.

Fig. 1 – Femmina di Tritone apuano in acqua.

Riproduzione degli Anfibi

Le uova degli Anfibi sono avvolte da una massa gelatinosa non resistente all'essiccamento. Per questo motivo le uova vengono deposte in acqua o, in alcune specie, a terra in luoghi molto umidi e protetti.

Questi vertebrati sono caratterizzati da una notevole varietà di modalità riproduttive. Gli Anuri sono ovipari, ossia depongono uova da cui nascono girini. L'incontro dei due sessi si basa sull'emissione di segnali acustici e al momento dell'amplesso il maschio abbraccia la femmina dorsalmente con le zampe anteriori. Grazie a questo stretto contatto fisico, le uova deposte dalla femmina vengono immediatamente fecondate; la fecondazione, quindi, ha luogo esternamente alle vie genitali femminili.

Gli Apodi praticano fecondazione interna per mezzo di un organo copulatore. Le specie sono per il 75% vivipare e partoriscono piccoli già metamorfosati. In questo caso le uova fecondate vengono trattenute nelle vie genitali femminili dove si svolgono le fasi di sviluppo embrionale e larvale.

Negli Urodeli il riconoscimento tra i due sessi si basa sull'emissione da parte dei maschi di particolari sostanze con funzione attrattiva (i cosiddetti

feromoni), le quali vengono secrete da specifiche ghiandole cloacali. Salvo poche eccezioni questi animali sono caratterizzati da fecondazione interna per mezzo del trasferimento di una spermatofora, ovvero una struttura gelatinosa contenente nella sua parte apicale un pacchetto di spermatozoi. La deposizione della spermatofora è preceduta da una serie di movimenti stereotipati effettuati da entrambi i partner. Tali movimenti sono specie-specifici ed impediscono la riproduzione tra individui appartenenti a specie diverse. Infatti, il maschio depone la spermatofora soltanto dopo una sorta di danza nuziale con la femmina. La danza induce la femmina a seguire il maschio e a raccogliere la spermatofora. A seconda della specie, le uova fecondate possono essere: deposte subito (specie ovipare); trattenute nelle vie genitali femminili per un periodo di tempo più o meno lungo dopo il quale le larve vengono partorite nell'acqua (specie ovovivipare); trattenute nelle vie genitali femminili fino al parto di piccoli già metamorfosati (specie vivipare).

La riproduzione in *Triturus alpestris apuanus*

Il *Triturus alpestris apuanus* è un anfibio appartenente all'ordine degli Urodeli. In Italia questa sottospecie si ritrova nelle Alpi Marittime, nelle Alpi Apuane e nell'Appennino Centro-Settentrionale. Piccole popolazioni isolate sono presenti anche nella Provincia di Siena (Radda e Gaiole in Chianti, Val di Farma).

Le femmine raggiungono una lunghezza di 125 mm, mentre i maschi non superano i 92 mm. Il ventre è arancione, il dorso marrone scuro; lungo i fianchi decorre una punteggiatura bianco-nera, meno pronunciata nelle femmine (Fig. 1).

Al momento della riproduzione i maschi di Tritone apuano ritornano all'acqua (metà febbraio-metà marzo), sviluppano una vistosa livrea nuziale ed aspettano l'arrivo delle femmine. La livrea presenta un'ampia colorazione bluastra ed una cresta dorsale non molto alta, dal margine liscio di colore nero/bianco-giallastro, che si continua senza interruzioni sulla coda compressa lateralmente. Il dorso è grigio-bluastro, blu scuro o grigio scuro. Sotto l'evidente punteggiatura bianco-nera dei

Fig. 2 – Maschio di Tritone apuano durante la stagione riproduttiva, con la tipica livrea nuziale.

fianchi decorre una linea azzurra. La cloaca è chiaramente rigonfia. Per quanto concerne le femmine, il dorso assume spesso un aspetto marmorizzato grigiastro, verde-bluastro o marrone; la punteggiatura longitudinale lungo i fianchi è meno pronunciata che nei maschi e solo raramente mostra il nastro azzurro sotto la punteggiatura. Esse, inoltre, non sviluppano una cresta dorsale ed hanno una cloaca poco rigonfia (Fig. 2).

Le interazioni tra gli individui appartenenti ai due sessi prevedono una complessa danza di corteggiamento (Fig. 3), con una serie di movimenti stereotipati diretti dal maschio verso la femmina, la quale può, a sua volta, rispondere negativamente o positivamente alle attenzioni del maschio. Un incontro sessuale può includere una fase di esibizione, nel corso della quale il maschio effettua una serie di movimenti con la porzione anteriore del corpo, e una fase di trasferimento della spermatofora, in cui il maschio cerca di attrarre la femmina con particolari movimenti della coda (Halliday,

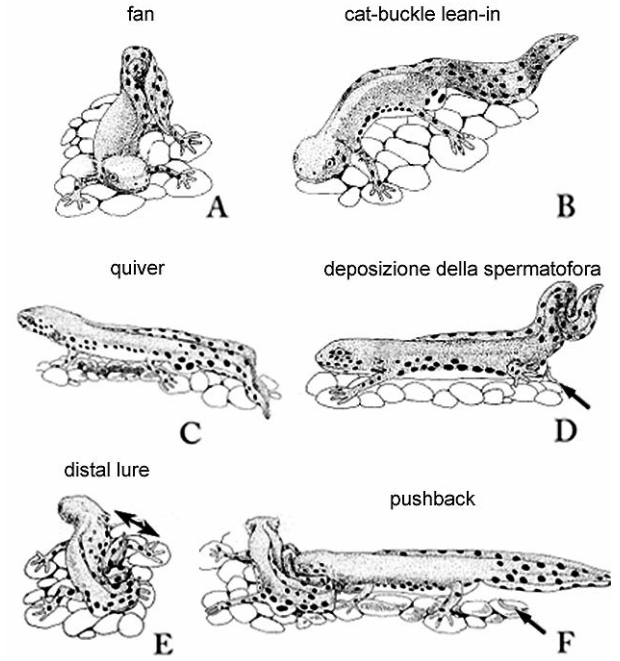


Fig. 3 – Le principali fasi di corteggiamento dei maschi di Tritone apuano.

Comportamento	Descrizione
Fase di corteggiamento:	
Fan (movimento a ventaglio della coda)	Il maschio posiziona la coda parallelamente al corpo e ne muove rapidamente l'apice
Cat-buckle lean-in (inarcamento del dorso)	Il maschio innalza il corpo, allungando le zampe, inarca il dorso e muove rapidamente la coda in direzione della femmina
Fase di trasferimento della spermatofora:	
Quiver (brivido)	Il maschio striscia sul substrato e vibra la coda lungo l'asse corporeo
Deposizione della spermatofora	Il maschio innalza la coda e depone la spermatofora sul substrato
Distal lure (movimento apicale della coda)	Il maschio posiziona la coda perpendicolarmente al corpo e muove prima l'apice della coda lentamente e in seguito effettua un ampio movimento, prima di riportare la coda di nuovo parallelamente al corpo
Pushback (spinta indietro)	Il maschio si trova di fronte alla femmina, che può spingere fortemente il suo muso contro la coda del maschio. Successivamente il maschio flette il corpo in direzione della femmina e flette la coda lontano dal suo fianco, spingendo indietro la femmina

Tab. 1 - Descrizione dei principali movimenti messi in atto durante il corteggiamento dei maschi di tritone.

1977; Denoël *et al*., 2001; Denoël, 2002). Per poter trasferire la spermatofora, il maschio deve fare in modo che la femmina lo segua e che passi sopra di essa poco dopo la sua deposizione (Tab. 1).

Una volta raccolta la spermatofora, gli spermatozoi entro la cloaca della femmina diventano mobili e migrano verso la spermateca, una particolare struttura digitiforme collocata nella volta della camera cloacale in cui gli spermatozoi vengono immagazzinati. La pressione esercitata dal passaggio delle uova provoca la fuoriuscita degli spermatozoi dalla spermateca e dunque la fecondazione delle uova. I tritoni depongono le uova sulla vegetazione acquatica, avvolgendole singolarmente nelle foglie.

Dal momento che sia lo sviluppo embrionale che quello larvale costituiscono fasi particolarmente critiche, la presenza in acqua di minime quantità di inquinanti può interrompere la crescita o provocare gravi malformazioni. Studi in laboratorio hanno infatti dimostrato che sono sufficienti quantità di detersivo pari allo 0,001% per indurre disturbi di sviluppo e un elevato tasso di mortalità degli organismi. Per questo motivo è particolarmente importante tenere comportamenti di rispetto verso l'ambiente e l'equilibrio degli ecosistemi.

Testi citati

Denoël M. (2002) - *Paedomorphosis in the Alpine newt* (Triturus alpestris)*: decoupling behavioural and morphological change*. Behav. Ecol. Sociobiol., 52, 394-399.

Denoël M., Poncin P. & Ruwet J.C. (2001) - *Alternative mating tactics in the Alpine newt* Triturus alpestris alpestris. J. Herpetol., 35, 62-67.

Halliday T.R. (1977) - *The courtship of European newts: an evolutionary perspective*. In: "The reproductive biology of amphibians" (Taylor & Guttman, eds.) Plenum, New York, 185-232.

Nöllert A. & Nöllert C. (1992) - *Die Amphibien Europas*. Kosmos Naturführer. Franckj-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart, 1-382.

Ophrys lutea Cavanilles
Foto "Il Graffio", Follonica

L'informazione ambientale istituzionale in Toscana

Francesca Cagnani, Silvia Aurigi
Università degli Studi di Siena, Biblioteca Centrale Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Piazzetta Silvio Gigli, 1 - 53100 Siena

Questo contributo ha lo scopo di segnalare ai lettori risorse informative di varia natura disponibili sul web, che offrano servizi di rete consultabili e utilizzabili ai fini della ricerca e della didattica. Attraverso di esso si intende non valutare la qualità dei contenuti propri a tali risorse, ma semplicemente metterne in luce le caratteristiche di accessibilità e chiarezza, le peculiarità e la tipologia dei servizi offerti o evidenziarne lacune e disfunzioni. Le risorse che si trovano in internet sono numerose, disomogenee e talvolta possono sfuggire all'attenzione; la nostra attività consiste perciò in una sorta di recensione delle risorse on-line che ci auguriamo giunga ad un pubblico vasto e consapevole.

Avendo scelto di puntare su fonti informative nazionali o regionali di interesse locale, è parso utile in questo numero iniziare dal sito dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) (Fig. 1) e proporre un'analisi sintetica di due interessanti servizi offerti: la Biblioteca on line (Tab. 1) e l'International Che-

Fig. 1 - Home page dell'ARPAT con evidenziati i links alla Biblioteca on-line e all'ICSC. URL: http://www.arpat.toscana.it/

Produttore	Centri di Documentazione dell'ARPAT; Dipartimenti Provinciali; Biblioteche del Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda USL di Bologna e del Coordinamento dei servizi per l'educazione sanitaria, per la regione Emilia Romagna.
URL	http://www.arpat.toscana.it/biblioteca/bi_cataloghi.html (pagina d'accesso) http://www.dba.it/arpat/doc.html (Catalogo dei documenti) http://www.dba.it/arpat/ser.html (Catalogo dei periodici) http://www.arpat.toscana.it/cgi/pubblicazioni/ (Elenchi delle pubblicazioni dell'ARPAT con l'indicazione della disponibilità)
Tipologia della risorsa	Catalogo collettivo, gratuitamente accessibile in rete (OPAC) Fa parte del Catalogo cumulato del Sistema Documentario Integrato dell'Area metropolitana di Firenze (SDIAF) – URL: http://www.comune.firenze.it/sdiaf/)
Patrimonio descritto e accessibile	Monografie: ca. 10700 records Periodici correnti: 65; on-line: 45; cessati: 120 Letteratura grigia: 1180 Videocassette: 77 Basi dati su *cd-rom*: 10 Basi dati *on-line* attraverso *hosts* EINS-GEM e *Dialog*
Copertura tematica	Protezione ambientale, igiene e sicurezza nei luoghi di vita e di lavoro, sostanze chimiche, controllo e ricerca nelle matrici ambientali, epidemiologia, chimica strumentale e analitica, patologia vegetale, chimica degli alimenti, attività delle Agenzie, legislazione ambientale
Descrizione	Sono disponibili due cataloghi: il Catalogo documenti, che descrive libri, video, enciclopedie, collane di enti (Regioni, ISPESLL, ISS, OMS, ANPA/ARPE ...), raccolte di leggi e direttive, documentazione grigia con particolare riguardo alla produzione italiana; il Catalogo dei periodici, che fornisce un'informazione aggiornata sulla dotazione di ARPAT e comprende i periodici in abbonamento e le pubblicazioni gratuite presenti presso la sede centrale e i Dipartimenti provinciali. I documenti sono descritti secondo standard catalografici e attraverso l'uso di descrittori o parole chiave (in italiano e inglese) tratte dal *Thesaurus per la prevenzione* (1999), raccolta di termini usati per caratterizzare la letteratura e le attività relative alla protezione ambientale.
Modalità di ricerca	- rapida, inserendo più termini nella casella di ricerca utilizzando anche il troncamento ($) a fine parola per mascherarne plurali o varianti; - multicampo, selezionando i campi da riempire: titolo, autore, editore, anno, descrittori e combinandoli con gli operatori booleani AND oppure OR; - scorrendo la lista degli autori. Dalla lista dei *records* recuperati si possono selezionare quelli d'interesse e visualizzarli in formato esteso. Questo consente di identificare il documento e vederne la collocazione. È data inoltre la possibilità di "navigare" all'interno del catalogo attraverso il nome dell'autore o i termini controllati del *Thesaurus.* I *records* selezionati possono essere salvati in un *file* di testo o stampati.
Servizi	Consultazione e Prestito (3 documenti per 1 mese). Fornitura fotocopie (*DD = Document Delivery*). Prestito interbibliotecario (*ILL = Inter Library Loan*). Consulenza per ricerche bibliografiche su banche dati (*Reference*). Per usufruire dei servizi di prestito e ricerca bibliografica è necessaria una registrazione. Sono applicate tariffe agli utenti esterni.
Sedi e orari	Le 17 biblioteche ARPAT corrispondono alle sedi dei Dipartimenti provinciali più alcune sedi sub-provinciali (Empoli, Borgo S. Lorenzo, Piombino). Gli orari di apertura, visibili su web (mart. e ven. 9 -13), sono piuttosto limitati, ma è possibile prendere appuntamento con il personale addetto, telefonicamente o per *e-mail*. Sono disponibili anche moduli *on-line* predisposti per la compilazione e l'invio dal *web*.
Per contatti	Telefono: 0553206461 - Fax: 0553206440 – Numero verde: 800 800400. Referente della Rete: Barbara Gobbò. *E-mail*: documentazione@arpat.toscana.it Sede di Siena: Loc. Il Ruffolo, 53100 SI; *e-mail*: dip.si@arpat.toscana.it

Tab. 1 - Scheda descrittiva della Biblioteca on-line dell'ARPAT (dati aggiornati a luglio 2005)

mical Safety Card (ICSC), una banca-dati di sostanze chimiche, tradotta in italiano e dal 2002 attiva sul sito dell'Agenzia.

L'APAT, le ARPA e l'ARPAT

La ratifica della Convenzione di Aarthus, sottoscritta dall'Italia nel 1998, ha segnato un impegno formale sull'accesso, la raccolta e la divulgazione delle informazioni ambientali, nonché sulla partecipazione del pubblico ai processi decisionali e sulla possibilità di far valere legalmente tali diritti. Per promuovere lo sviluppo coordinato del sistema delle agenzie territoriali di controllo è stata quindi istituita nel 1999 l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT), che svolge i compiti e le attività tecnico-scientifiche di interesse nazionale ed è sottoposta ai poteri di indirizzo e vigilanza del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio. Le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA), istituite con L. 61/1994, e l'Agenzia Toscana (ARPAT) attiva dal 1996, svolgono in questo quadro le necessarie azioni di programmazione, coordinamento, controllo e valutazione dell'ambiente regionale e promuovono le attività di documentazione e comunicazione necessarie per l'educazione e l'informazione concernenti le problematiche ambientali (Fig. 2).

Fig. 2 - Le 13 Biblioteche on line e i centri di documentazione del sistema agenziale APAT (immagine tratta dal sito).
URL: http://www.apat.gov.it/

Banca-dati ICSC

La banca-dati ICSC è stata istituita tramite la collaborazione di istituzioni americane ed europee in seguito allo sviluppo dell'International Programme on Chemical Safety (IPCS) siglato nel 1980 tra la World Health Organization (WHO), l'International Labour Office (ILO) e l'United Nations Environment Programme (UNEP). La banca-dati è stata prodotta nel 1999, mentre nel 2001 alcune ARPA ne hanno predisposto la versione in lingua italiana. Anche l'ARPAT ha collaborato al progetto e l'accesso gratuito alla banca-dati è possibile dal sito *web* dell'ente.

La banca-dati ICSC contiene schede informative (Fig. 3) su 1267 sostanze chimiche redatte da esperti internazionali incaricati dall'IPCS (senza voler sostituire le Schede di sicurezza dei prodotti, Dir 67/548/CEE). Può essere un utile strumento di lavoro, ai fini della corretta gestione dei rischi ambientale e sanitario, per chi è coinvolto in situazioni di emergenza (Protezione Civile, Servizi di Sicurezza Aziendale, ecc…) e per chi lavora o è a contatto con sostanze chimiche pericolose. Nella tabella che segue (Tab. 2) si è cercato di sintetizzare le caratteristiche principali della banca-dati.

Per approfondire

Legge 21 Gennaio 1994, n. 61. *Conversione in legge, con modificazioni ed integrazioni, del decreto legge 4-12-1993, n. 496 concernente "Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente"* G.U. 27-1-1994, n° 21.

Dir. 67/548/CEE. *Riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari ed amministrative relative alla classificazione, all'imballaggio e all'etichettatura delle sostanze pericolose*.

AIDA ambiente. *Le fonti dell'informazione e documentazione ambientale in linea*. A cura di Alessandra Ensoli.
<http://www.aidaweb.it/ambiente.html>
Sito ufficiale del NIOSH:
<http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>

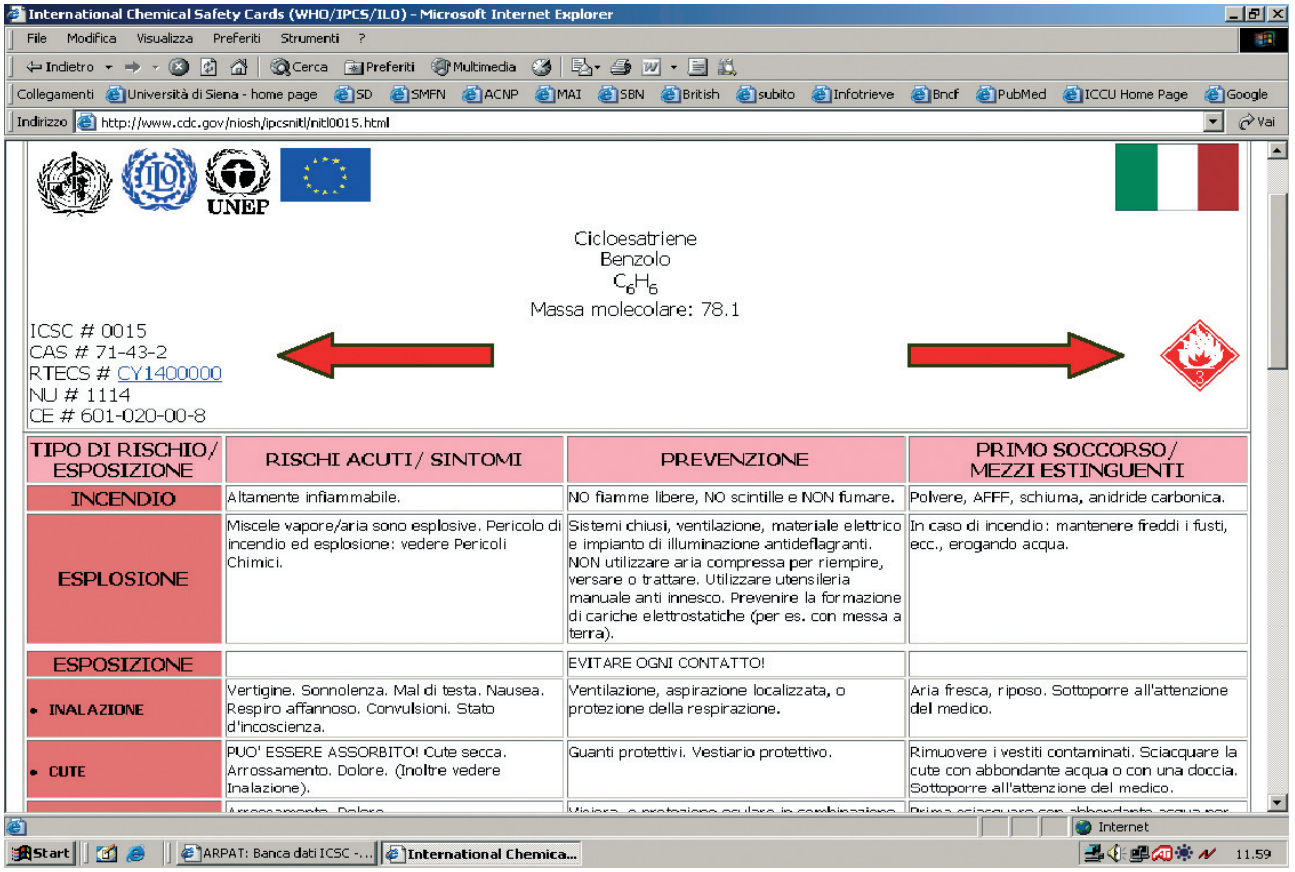


Fig. 3 - Esempio di scheda della banca dati ICSC.

URL	http://www.arpat.toscana.it/consulta/cons_bancadati_icsc.html
Tipo di materiale	Sostanze chimiche
Modalità di ricerca	Le sostanze sono elencate per nome chimico e sinonimi in ordine alfabetico. L'accesso è possibile anche conoscendo alcuni numeri standard internazionali riferiti alle sostanze (CAS, CEE, EINECS, RTECS, ONU, ICSC)
Descrizione	La banca-dati è costituita da schede in cui sono riportati: il nome per esteso, i sinonimi e la massa molecolare della sostanza. La scheda è suddivisa in: - tipologie di rischio ed esposizione con le relative misure di prevenzione e gli accorgimenti per il primo soccorso; - rimozione di sversamenti e procedure corrette di immagazzinamento, imballaggio ed etichettatura; - aspetto fisico, pericoli fisici e chimici, limiti di esposizione occupazionale, rischi, effetti dell'esposizione, proprietà fisiche e dati ambientali.
Collegamenti ipertestuali	Nella parte iniziale della scheda due dati sono collegamenti per approfondire le informazioni fornite: 1- la simbologia che diventa maggiormente leggibile; 2 - il numero RTECS rimanda alla scheda del Registry of Toxic Effects of Chemical Substances del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) relativa alla sostanza che stiamo valutando contenente i dati di tossicità ed i corrispondenti riferimenti bibliografici (Fig. 3).
Note	Sarebbe funzionale che oltre alla modalità di scorrimento delle liste alfabetiche le sostanze potessero essere ricercate direttamente con l'aggiunta di altre eventuali chiavi di accesso.

Tab. 2 - Scheda descrittiva della banca dati ICSC (dati aggiornati a luglio 2005)

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 di proporre agli autori eventuali modifiche in linea con il carattere della rivista.

Possono essere accettate inserzioni pubblicitarie da parte di università, scuole, musei, parchi, associazioni, istituzioni professionali o aziendali e di quanti altri abbiano in qualche modo relazione con la conoscenza, la gestione, la tutela e la valorizzazione del patrimonio naturale. Gli interessati possono rivolgersi al Comitato editoriale del periodico anche tramite e-mail.

Etruriantura