



Etruria *natura*

una finestra sul territorio

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena

Anno XIII - 2019





Etruria*natura*

una finestra sul territorio

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena

Anno XIII - 2019

*Coltivare conoscenza
per creare coscienza*



ACCADEMIA DEI FISIOCRITICI



Etrurianatura
Accademia dei Fisiocritici onlus
Piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena
tel. 0577 47002
www.fisiocritici.it
www.museofisiocritici.it

Registrazione

Autorizzazione del Tribunale di Siena n. 747 del 19/01/2004

Direttore Responsabile

Gianmichele Galassi - *Accademia dei Fisiocritici*

Comitato Editoriale

Ilaria Corsi - *Università di Siena*
Roberto Fondi - *Accademia dei Fisiocritici*
Francesca Lazzeroni - *Accademia dei Fisiocritici*
Roberto Mazzei - *Accademia dei Fisiocritici*

Comitato Scientifico

Dario Albarello*
Antonio Maria Baldi**
Vincenzo De Dominicis*
Attilio Galiberti*
Antonio Guerci***
Claudio Leonzio*
Sandro Lovari*
Alessandro Masotti**
Ruggero Matteucci****

Luana Paulesu*
Claudio Rossi*
Massimo Salleolini*
Enrico Tavarnelli*
Cecilia Viti

* *Università di Siena*

** *Professionista*

*** *Università di Genova*

**** *Università La Sapienza di Roma*

tipografia
senese

Realizzazione editoriale

Tipografia Senese Editrice
Siena (Italia)
www.tipografiasenese.it

Nessuna parte di questa rivista può essere riprodotta o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico o altro senza l'autorizzazione scritta dei proprietari dei diritti e dell'autore. L'editore è a disposizione degli eventuali detentori di diritti che non sia stato possibile rintracciare

© 2019 Accademia dei Fisiocritici onlus, Siena

ISSN 2282-2607

In copertina

Foto di Giovanni Bencini - Viale Europa,
comparto "I Pini", 42 - 58022 Follonica (GR)

Retro copertina

Foto di Giovanni Bencini

Sommario

Presentazione

La pagina dell'Accademia

- 8 I musei scientifici e la sostenibilità sociale.
Il ruolo del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici
Andrea Benocci, Chiara Bratto

Contributi

- 14 Come l'interazione tra microrganismi e ambiente fisico è in grado di modellare la superficie di *habitat* aridi odierni: un caso nel Sahara Occidentale (Marocco)
Roberto Barbieri, Brahim Abounacer
- 20 Esiste una correlazione tra parametri biologici e contaminazione? Il caso del merluzzo polare nel Parco Nazionale della Groenlandia nord-orientale
Alice Marri, Kim Præbel, Davide Baroni, Alessandra Cincinelli, Tania Martellini, Simonetta Corsolini
- 31 Un antico insediamento agricolo nei pressi di Portoferraio (Isola d'Elba, Livorno): Archeobotanica e Storia
Claudio Milanese
- 35 Fenomeni spontanei "all'interfaccia" nei sistemi fisici naturali
Mauro Rossi
- 43 Le biancane delle Crete Senesi e della Val d'Orcia: erosione, copertura vegetale e impatto antropico
Simona Maccherini, Michela Marignani, Elisa Santi, Dino Torri
- 54 Studio del profilo storico degli impatti umani mediante analisi granulometriche e ecotossicologiche dei sedimenti: il caso del Canale di Ritorno a Mare nella piana di Follonica-Scarlino
Cristina Romani, Simonetta Corsolini
- 67 Gli eventi tettonici e climatici che hanno influenzato la costruzione della Pianura di Pisa e della Versilia
Renzo Mazzanti, Roberto Mazzei

Il punto della situazione

- 84 Sull'altra specie del genere *Homo*
Roberto Fondi

Orizzonti

- 108 Il parco minerario delle Cetine di Cotorniano: utopia o realtà?
Alessandro Masotti

La parola all'immagine

- 118 Il mondo palustre non ospita solo zanzare ...
Giovanni Bencini

Io il lettore

- 126 Quando la Natura diviene Poesia
Marta Luciana Giovannoli

Schede naturalistiche

- 130 Sulla Lepre italiana: *Lepus corsicanus* de Winton, 1898
Giorgia Romeo
- 134 Uno scritto di Aldo Cairola: le Crete Senesi *sub specie interioritatis*

Presentazione

Cari lettori,

quello che state aprendo è il tredicesimo numero di *Etrurianatura*. Per i superstiziosi, com'è noto, il 13 è un numero che porta sfortuna: tant'è che i cabalisti lo associano, sia alla carta dei tarocchi raffigurante la morte, sia al serpente satanico o dragone apocalittico. Per i cristiani, al contrario, il 13 è il numero rappresentativo di Maria Vergine la cui missione è appunto quella di schiacciare la testa di quel dragone. Diciamo dunque che più in generale, sulla base delle tradizioni esoteriche di tutto il mondo, il numero 13 simboleggia il transito da un ciclo passato ben conosciuto ad uno nuovo del tutto ignoto, e quindi suscettibile di essere affrontato con una certa dose di ansia.

Iniziato nel 1999, il ciclo che è stato percorso ha visto la creazione della rivista *Elsanatura*, strumento dell'Associazione del Museo-Territorio di Storia Naturale dell'Alta Val d'Elsa e, cinque anni dopo, la sua cessione e metamorfosi in *Etrurianatura* presso l'Accademia dei Fisiocritici di Siena. Il primo numero della nuova rivista, che nella foto di copertina recava significativamente una libellula poggiata sopra un fiore di girasole, così veniva presentato dall'allora Presidente di questa antica e prestigiosa istituzione:

“Scrutinare ed indagare con giudizio i segreti della natura e quasi come giudici ributtare dalle scienze naturali ciò che è falso per meglio apprendere ciò che è vero”: questo fu scritto negli atti costitutivi dai fondatori dell'Accademia delle Scienze di Siena e questo sarà lo scopo della rivista che l'Accademia ha deciso di pubblicare per avere un rapporto con tutte le espressioni del territorio.”

Riteniamo che i dodici numeri finora realizzati abbiano degnamente assolto questo compito. Come già *Elsanatura*, anche *Etrurianatura* ha sempre incontrato il favore non solo dei singoli lettori interessati alla conoscenza, gestione e valorizzazione del patrimonio naturale, ma anche quello delle istituzioni scolastiche e universitarie, dei centri di cultura, delle biblioteche, degli amministratori e dei professionisti. Difficilmente, del resto, avrebbe potuto essere altrimenti considerate le figure degli articolisti per gran parte docenti universitari. Con un particolare e commosso ricordo nei confronti degli scomparsi Enzo Tiezzi e Giovanni Guasparri, eccone una lista ben nutrita seppure tutt'altro che completa: Dario Albarello, Claudia Angiolini, Piero Barazzuoli, Roberto Barbieri, Andrea Benocci, Alessandro Bossio, Luigi Carmignani, Mauro Coltorti, Ilaria Corsi, Simonetta Corsolini, Armando Costantini, Edoardo Costantini, Silvano Focardi, Luigi Folco, Roberto Fondi, Luca Maria Foresi, Maria Luce Frezzotti, Attilio Galiberti, Anna Gandin, Antonio Lazzarotto, Claudio Leonzio, Sandro Lovari, Giuseppe Manganeli, Enzo Mantovani, Ruggero Matteucci, Renzo Mazzanti, Roberto Mazzei, Giovanni Monastra, Sonia Mugnaini, Neri Niccolai, Enrico Pandeli, Luana Paulesu, Pierluigi Pieruccini, Carlo Alberto Ricci, Francesco Riccobono, Marco Rustioni, Giuseppe Sabatini, Massimo Salleolini, Gianfranco Salvatorini, Fabio Sandrelli, Michele Sani, Andrea Sforzi, Franco Maria Talarico, Enrico Tavarnelli, Maria Vegni Talluri, Cecilia Viti, Marcello Viti. E chiediamo scusa all'altrettanto folta schiera dei Ricercatori più giovani se, unicamente per mere ragioni di spazio, evitiamo di fare lo stesso elencandone i nomi.

A parte la qualità dei contenuti, anche la veste tipografica di *Etrurianatura* è sempre stata oggetto di particolare cura ed ha sempre potuto mantenersi su un livello elevato grazie alla generosa disponibilità degli editori, primo fra tutti il compianto Pietro Cantagalli, ed al ricco corredo di immagini fornito inizialmente dal Gruppo fotografico “Il Graffio” e poi da Giovanni Bencini. Immagini che a detta di molti nulla, ma proprio nulla, hanno da invidiare a quelle pubblicate su altre ben più celebri riviste come *Airone* o il *National Geographic Magazine*.

Abbiamo voluto ricordare il ciclo finora percorso nella speranza che se ne perpetui l’eredità valorizzandola nel suo insieme e correggendone, all’occorrenza, i possibili difetti. Considerati i chiari di luna di questi tempi, non è scontato che ciò avvenga.

Stavolta non introdurremo ai vari articoli, come di solito facciamo, ma lasceremo che siano gli stessi lettori ad usufruire di quanto ritengono possa maggiormente interessarli. Visto il ruolo scientifico e divulgativo che la rivista ricopre, preme piuttosto evidenziare tre “paletti” direzionali riguardanti il suo sviluppo qualitativo futuro:

- 1) che sia incrementato il numero degli articoli inviatici in modo da potervi effettuare una scelta;
- 2) che sia garantito il rispetto del metodo scientifico;
- 3) che gli scritti siano resi comprensibili da un pubblico quanto più vasto possibile.

Affinché sia soddisfatta l’esigenza del primo punto, relativo alla fase del *call for papers*, è necessario che quanti credono veramente nell’importanza formativa di *Etrurianatura* – dai membri dei Comitati a tutti gli Accademici, dagli studiosi agli appassionati, fino ai comuni cittadini – ne partecipino alla vita in modo diretto scrivendo articoli o indiretto sollecitando in tal senso studenti, ricercatori, colleghi e conoscenti. Tale partecipazione, che in ogni caso consentirà a tutti un confronto costruttivo con il mondo della cultura e della scienza, sarà accolta con particolare e profonda gratitudine.

Riguardo al punto successivo, facciamo notare che in seconda pagina figura un Comitato Scientifico composto in gran parte da professori degli Atenei di Siena e di altre città nonché da affermati professionisti, il cui compito è appunto quello di controllare la correttezza scientifica degli articoli e di indicarne la qualità. Il Comitato, comunque, entrerà nelle sue piene funzioni soltanto a partire dal prossimo numero; in quello che presentiamo hanno potuto operare solo alcuni dei membri elencati, ai quali rivolgiamo i più sentiti ringraziamenti.

Sempre in seconda pagina è riportato un nuovo Comitato Editoriale le cui funzioni sono quelle di collegarsi con l’altro Comitato, di stabilire con gli autori un rapporto di collaborazione non escludente eventuali indicazioni, suggerimenti e modifiche (senza che queste ultime alterino in alcun modo i contenuti originali dei testi), di organizzare ciascun numero della rivista e di seguirlo nelle varie operazioni tipografiche e di stampa. Proprio attraverso le sue interazioni questo Comitato potrà contribuire a soddisfare quanto richiesto al terzo punto.

Vi auguriamo una buona lettura.

Il Comitato Editoriale

La pagina dell'Accademia



Foto di Giovanni Bencini

I musei scientifici e la sostenibilità sociale. Il ruolo del Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici

Andrea Benocci¹, Chiara Bratto²

¹ Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici, Piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena - museo@fisiocritici.it

² Accademia dei Fisiocritici, Piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena - brattoc@unisi.it

Il testo qui sotto riportato è la versione integrale del contributo che l'Accademia dei Fisiocritici ha elaborato per la pubblicazione nel volume Passo dopo passo verso la sostenibilità: ricerche ed azioni dei musei scientifici italiani, nella sezione 2 dedicata a: Musei scientifici italiani per la sostenibilità sociale. Ricerche e azioni per società sostenibili: musei e inclusione socio-culturale.

Il volume, a cura dell'Associazione Nazionale Musei Scientifici e finanziato dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo, è stato pubblicato da Angelo Pontecorboli Editore, Firenze (ISBN 978-88-3384-046-8 Firenze ottobre 2019).

Il ruolo sociale che i musei possono svolgere è infatti un argomento sempre più dibattuto: si è quindi ritenuto opportuno mettere in evidenza la vasta gamma di iniziative che conciliano gli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 con le azioni sul territorio costantemente svolte dai membri dell'ANMS.

L'ANMS, Associazione Nazionale Musei Scientifici, promuove la museologia scientifica in Italia creando collegamenti fra le Istituzioni e gli operatori interessati. Pubblica una rivista specializzata e organizza ogni anno congressi, convegni, seminari e incontri tematici che favoriscono lo scambio delle opinioni e l'aggiornamento.

Da lungo tempo il Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici, insieme a moltissime altre istituzioni, è socio dell'ANMS e partecipa a varie sue iniziative.

L'Accademia dei Fisiocritici, fondata a Siena nel 1691, promuove le scienze sperimentali, pure ed applicate, e si impegna per la loro conoscenza e diffusione. Il suo Museo di Storia Naturale (d'ora in avanti MUSNAF), frutto di due secoli di acquisizioni e donazioni, è uno dei più antichi e importanti musei scientifici della Toscana. Espone reperti naturalistici, strumenti d'epoca e curiosità, in un allestimento tipicamente ottocentesco. L'Accademia possiede inoltre un ricchissimo patrimonio librario a carattere storico-scientifico e un archivio dichiarato "di notevole interesse storico". La diffusione della cultura scientifica è perseguita attraverso la pubblicazione di periodici e volumi monografici e tramite attività educative

molto diversificate. Già a partire dal Settecento i Fisiocritici effettuavano dimostrazioni pubbliche degli esperimenti con la macchina del vuoto, rivolte non solo a scienziati e accademici, ma all'intera cittadinanza. Le molteplici attività organizzate dal MUSNAF (visite guidate, laboratori, campus ludico-didattici, mostre tematiche, convegni e altro) rappresentano oggi la naturale evoluzione di quelle iniziative del passato. L'Accademia del terzo millennio vuole infatti essere un polo culturale in grado di rivolgersi a tutte le fasce di età e a un pubblico sempre più differenziato.

Nell'ottica di raggiungere un'utenza ancora maggiore e rendere più fruibile il Museo, superando i limiti dell'esposizione ottocentesca che in



Fig. 1 - Visita tattile per non vedenti alla Sezione Zoologica del MUSNAF (ottobre 2016).

parte ne riduce la leggibilità, i Fisiocritici già da alcuni anni hanno fatto ricorso alle nuove tecnologie come strumento di supporto alla conoscenza e alla didattica. Dall'uso di social network e contenuti multimediali per diffondere informazioni sulla loro storia e sulle collezioni custodite, sono passati nel marzo 2016 a lanciare un'applicazione che consente di visitare virtualmente il Museo, con approfondimenti in italiano, inglese, mandarino e lingua italiana dei segni per non udenti. Nel settembre dello stesso anno l'Accademia ha

aderito al progetto Natural History di Google Cultural Institute: il MUSNAF è presente su questa piattaforma digitale con mostre interattive in italiano e in inglese, immagini, filmati e una ricostruzione dell'intero percorso museale realizzata con tecnologia Street View (immagini panoramiche a 360°). Chiunque, in ogni parte del mondo, anche nell'impossibilità di spostarsi può virtualmente visitare il Museo e ammirarne il prezioso patrimonio.

Nel solco di questa tradizione di apertura verso l'esterno, l'Accademia si è posta da lungo tempo degli obiettivi di inclusione socio-culturale, rivolgendo un'attenzione particolare anche alle cosiddette categorie svantaggiate per avere un ruolo di primo piano nel tessuto sociale della città e del territorio, in linea con gli obiettivi dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile.

Il percorso è iniziato già nel 2006 con l'abbattimento delle barriere architettoniche: attualmente lo spazio espositivo è interamente accessibile ai disabili motori grazie a un elevatore che collega tutti i piani e le sezioni. Sempre nel 2006 fu anche realizzato un percorso tattile per non vedenti e ipovedenti, ideato dal Centro Studi sul Quaternario di Sansepolcro (AR) e dai Fisiocritici in collaborazione con l'Università di Siena, l'Unione Italiana Ciechi e altri soggetti che operano nel settore della disabilità visiva. Circa 20 reperti zoologici del MUSNAF furono selezionati per essere utilizzati all'interno del percorso sensoriale guidato. Ciechi e ipovedenti hanno così potuto per la prima volta manipolare animali esotici fino ad allora solo immaginati, come testimoniato dalla lettera di una bambina non vedente di terza elementare, scritta al termine della visita: "... la mia esperienza è stata bella, anzi bellissima, perché non avevo mai visto gli animali dal vivo e sono rimasta sorpresa da tutti quelli che mi avete fatto vedere. Gli animali imbalsamati sono meglio di quelli finti e poi devo anche dirvi che sono rimasta stupita per il regalo che mi avete fatto quando mi avete fatto vedere il pinguino ...".

Il MUSNAF già dal 2004 aveva collaborato con il prestito di animali tassidermizzati all'allesi-



Fig. 2 - Tavolo allestito per visite tattili all'interno della mostra temporanea Ars Botanica (ottobre 2017).

mento della mostra tattile “Vietato Non Toccare”, progettata dall'Ufficio Accoglienza Disabili e dal Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell'Università di Siena. Negli anni successivi le iniziative dedicate ai disabili visivi sono proseguite in occasione dell'organizzazione di altre due esposizioni temporanee presso l'Accademia. Dal 26 ottobre al 6 novembre 2016 i Fisiocritici hanno infatti ospitato la mostra plurisensoriale “L'uomo e l'ambiente dalla preistoria a oggi”, dedicata al rapporto uomo-natura dal Paleolitico all'età storica e concepita secondo i principi dell'accessibilità universale. L'iniziativa era parte integrante del progetto “Arte, Bellezza, Cultura, Diritti - ABCD”, finanziato dal MIUR per favorire buone pratiche sulla didattica per i disabili nella scuola e diffondere i principi di accoglienza e integrazione come impegno civico dell'Università. La mostra esponeva modelli e calchi di manufatti preistorici che i visitatori, bendati e accompagnati da una guida,

erano invitati a esplorare con il tatto, l'olfatto e l'udito.

In occasione della mostra di disegni sulla flora toscana dal titolo “Ars Botanica”, visitabile dal 23 ottobre 2017 al 30 marzo 2018, sono stati inoltre inseriti all'interno del percorso pannelli in Braille appositamente realizzati e un “tavolo tattile” dove poter manipolare frutti, foglie e altre parti vegetali. La mostra, nata dalla collaborazione tra Sistema Museale d'Ateneo, Comune di Siena e Accademia dei Fisiocritici, fu inclusa nel progetto della Regione Toscana “Musei di qualità al servizio dei visitatori e delle comunità locali 2017-2018” per la realizzazione di percorsi espositivi e didattici all'insegna dell'accessibilità universale.

L'ambito in cui il MUSNAF ha operato maggiormente in termini di inclusione culturale riguarda però l'offerta didattica, in passato principalmente rivolta ai gruppi scolastici e ora sempre più spesso indirizzata a pubblici diversi, come



Fig. 3 - Visita dell'Associazione Migranti San Francesco al Museo di Storia Naturale (agosto 2018).

anziani, disabili, minori in situazioni di disagio e migranti. In tutti questi casi sono state le stesse associazioni o le strutture ospitanti di Siena e provincia a contattare l'Accademia per richiedere visite guidate e percorsi personalizzati, tornando poi negli anni successivi con altri gruppi, visto il notevole gradimento riscosso da queste iniziative. A partire dagli anni 2000 sono state così condotte attività in collaborazione con residenze per anziani, centri diurni del Comune di Siena, centri di salute mentale e altre realtà che si occupano di riabilitazione psichiatrica, con un'associazione che sostiene bambini e ragazzi con difficoltà specifiche di apprendimento (Beautiful Mind) e tre associazioni impegnate sulle tematiche dell'integrazione che gestiscono corsi di alfabetizzazione per rifugiati, migranti e richiedenti asilo (Associazione Migranti San Francesco, Cantiere17 e ARCI Comitato Provinciale di Siena).

Notevole attenzione ai disabili psichici è stata

riservata anche all'interno del progetto "Cantiere Patrimonio", sviluppato dal Siena Art Institute – organizzazione no-profit per la formazione e la diffusione delle pratiche artistiche – e finalizzato a una reinterpretazione del MUSNAF in chiave artistica. Dal febbraio 2018 al febbraio 2019 l'Accademia dei Fisiocritici ha fatto da cornice a una serie di iniziative dedicate alla rilettura creativa delle collezioni esposte, realizzate in collaborazione con l'Università di Siena, la Contrada della Tartuca, due cooperative sociali e un liceo classico. In un'ottica di massima inclusione, le attività erano rivolte a studenti di tutte le età, ma anche a comuni cittadini e persone affette da disabilità psichica: sono state così coinvolte in fase progettuale la cooperativa sociale "La Mattonaia" di Montegrignoni (SI) e l'associazione "Riabilita onlus" di Siena. Il 7 giugno 2018 dieci utenti di "Riabilita" hanno avviato un percorso di arte-terapia, iniziato con una visita al MUSNAF e proseguito con la

creazione di variopinti elaborati ispirati ai reperti osservati. Alla fine dell'anno le loro suggestive tavole a colori sono state esposte in una mostra collettiva insieme a creazioni e installazioni di vari artisti internazionali e agli elaborati prodotti dagli studenti. Tutte le opere d'arte e gli oggetti di artigianato sono stati esposti tra vetrine, sale e corridoi del Museo dal 7 dicembre 2018 al 28 febbraio 2019, coronando così un anno di attività mirate a favorire il dialogo e lo scambio reciproco tra soggetti molto diversi. Questi obiettivi di inclusione sono stati portati avanti anche attraverso il progetto "SIENAI SPIRA", frutto di un partenariato tra Accademia dei Fisiocritici e "Rejuvenate UK", organizzazione londinese che progetta workshop formativi per giovani svantaggiati. Quasi come un'ideale evoluzione di Cantiere Patrimonio, questo progetto è nato intorno al MUSNAF e al suo ruolo di mediatore culturale tra soggetti diversi. Tra le numerose attività svolte da settembre a dicembre 2019 figurano workshop di tessitura a mano destinati ad artisti e operatori culturali locali nonché utenti di "Riabilita" già coinvolti in percorsi legati al tessile.

Tutte queste iniziative perseguono uno dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 (il numero 10, "Ridurre le disuguaglianze") perché, come dichiarato dal Centro Regionale di Informazione delle Nazioni Unite, "[...] la crescita economica non è sufficiente per ridurre la povertà se non si tratta di una crescita inclusiva e se non coinvolge le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile - economica, sociale e ambientale". Tra i vari traguardi di questo obiettivo, quello al punto 10.2 pone particolare attenzione all'inclusione sociale, economica e politica di tutti, a prescindere da età, sesso, disabilità, razza, etnia, religione, stato economico o altro. Se, da un lato, l'inclusione economica è sempre stata uno degli obiettivi dei Fisiocritici, che nel corso dei secoli hanno svolto gratuitamente attività didattiche ed educative di ogni tipo, in linea con le proprie finalità statutarie, il percorso verso l'inclusione sociale è iniziato spontaneamente, grazie alle richieste pervenute dall'esterno e all'innescò di nuovi contatti che a mano a mano, anche grazie al passaparola, si sono aggiunti a quelli esistenti, avviando un percorso virtuoso destinato a crescere nel futuro.

Contributi

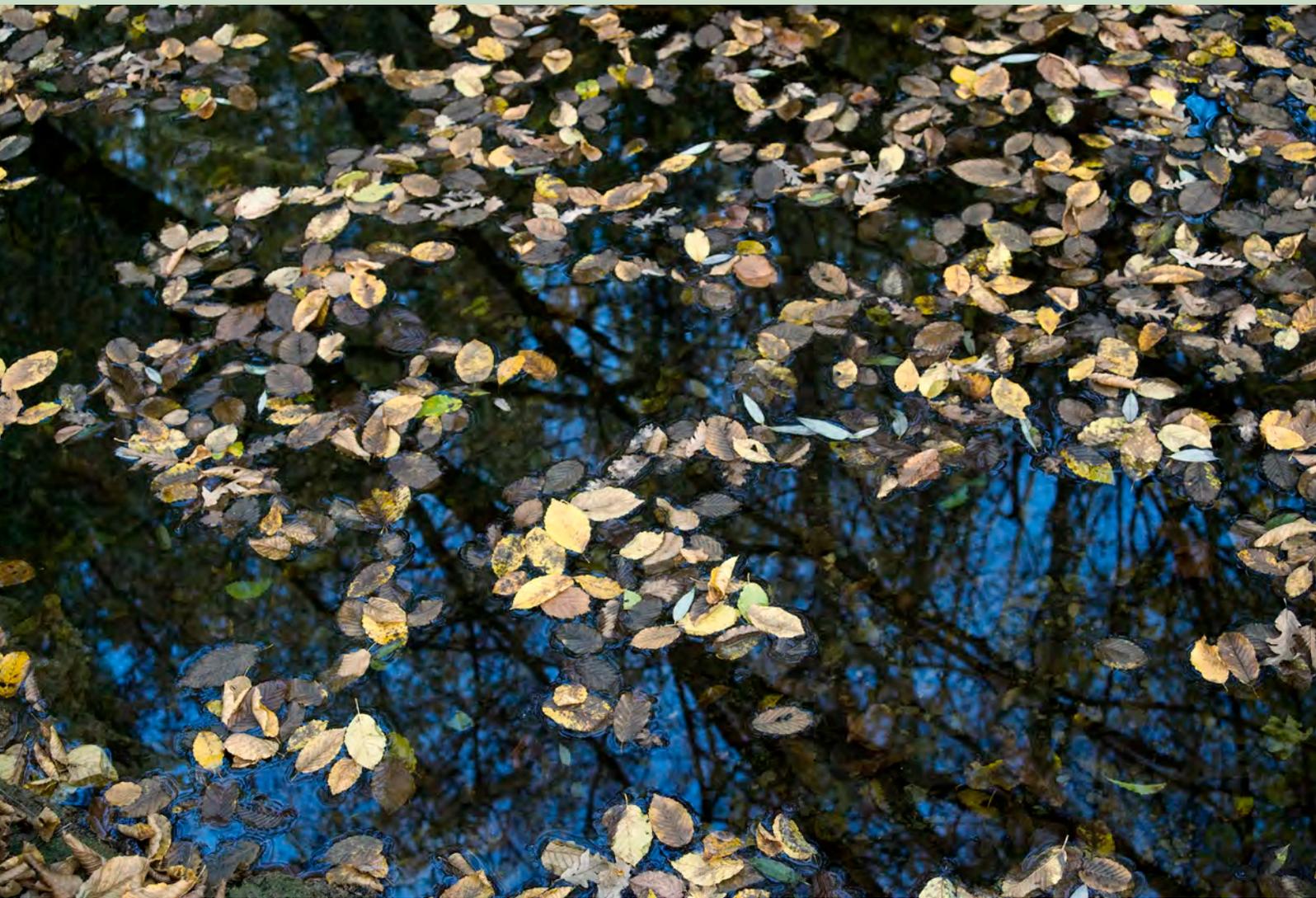


Foto di Giovanni Bencini

Come l'interazione tra microrganismi e ambiente fisico è in grado di modellare la superficie di *habitat* aridi odierni: un caso nel Sahara Occidentale (Marocco)

Roberto Barbieri*, Brahim Abounacer**

* Università di Bologna, Dipartimento BiGeA, Bologna
roberto.barbieri@unibo.it

** Sidi Bouzid (Safi), Marocco

Introduzione

Le aree desertiche della Terra sono sede di *habitat* controllati da diversi fattori ambientali tra cui l'aridità. Questa, in particolare, accomuna tali aree, a prescindere dalla loro posizione latitudinale. In alcuni loro settori, tuttavia, possono trovarsi laghi salati, seppur effimeri e poco profondi; nella regione sahariana e medio orientale questi laghi effimeri sono indicati con il termine arabo di *sabkha*. Le *sabkha* si possono formare in ambienti aridi continentali oppure lungo aree costiere: in entrambi i casi la precipitazione di sali evaporitici, in prevalenza carbonati, solfati e cloruri, costituisce la norma.

La formazione di depositi salini, che come nel caso del cloruro di sodio possono essere molto solubili, è determinata dalla scarsità delle precipita-



Fig. 1 - La *sabkha* Oum Dbà vista dal suo margine settentrionale situato in prossimità della strada nazionale N1 che collega Tarfaya a Laayoune (Sahara Occidentale).

zioni e, più in generale, di risorse idriche, fino a una totale assenza di un qualsivoglia regime idrologico. Le croste saline (dolomite, gesso/anidrite, salgemma), che caratterizzano le piane costiere del golfo Persico e del Sahara settentrionale (si veda, ad esempio, in: Barth & Böer, 2002; Öztür *et al.*, 2011), sono legate soprattutto a fenomeni associati all'evaporazione di acque salate da falda freatica. In prossimità della fascia atlantica del Sahara Occidentale, poco a sud della cittadina di Tarfaya, esistono *sabkha* diverse sia per estensione che per caratteristiche morfologiche. Tra queste è da ricordare, per l'insieme dei sub-ambienti in condizioni aride che vi si possono incontrare, la *sabkha* Oum Dbà (ubicata circa 40 km a nord della città di Elayoun). Oltre a suscitare un grande interesse naturalistico essa è divenuta nota a un certo turismo internazionale per gli spettacolari scenari visibili dalla strada costiera che lambisce il suo margine settentrionale (Fig. 1). Anche se in questo settore la *sabkha* ha ospitato fino a tempi recenti una compagnia mineraria che produceva salgemma attraverso sistemi di vasche alimentate da pozzi, nell'area centrale e lungo il margine meridionale essa ha mantenuto intatta la sua naturalità. La costante presenza di acqua salina, nel sottosuolo (falda idrica) e fino alla fuoriuscita, alimenta ecosistemi ove interagiscono evaporazione, precipitazione minerale, trasporto di sedimento eolico e attività biologica. I prodotti permanenti di queste interazioni sono un *mix* di sedimenti, precipitati minerali (carbonato di calcio, solfato di calcio e halite) e tracce di attività biologica derivanti da processi fisici, chimici e bio-

chimici, in un esteso laboratorio naturale di facile accessibilità e con ampie possibilità di osservazione diretta delle diverse interazioni.

Scopo principale dell'articolo è quello di esaminare e descrivere le micromorfologie superficiali del settore meridionale della *sabkha* Oum Dbā, con particolare riferimento a quelle stabilizzate dalle precipitazioni minerali le quali, in quanto tali, sono in grado di preservarsi insieme alle componenti biotiche che hanno concorso alla loro formazione. Queste micromorfologie possono risultare diagnostiche di *habitat* aridi specie nel caso di un loro ritrovamento allo stato fossile.

Il settore meridionale della *sabkha* Oum Dbā

La *sabkha* continentale Oum Dbā, posta al di sopra della successione neogenico - quaternaria del bacino di Tarfaya (ElJorfi *et al.*, 2015), si sviluppa parallelamente alla costa atlantica (dalla quale dista circa 20 Km) per circa 5 km di larghezza e 15 di lunghezza. Nei circa 70 km² che occupa, sono diversi gli ambienti che vi si possono riconoscere e che possono essere messi in relazione con l'evaporazione di acque saline, con i depositi eolici (dune di sabbia), con le aree di deflazione e, infine, con i corsi d'acqua effimeri che divagano verso le aree centrali della depressione (Figg. 2A e B). Gran parte della sua superficie, tuttavia, consiste di zone piatte dove si rinvergono sabbie e argille spesso incrostate da depositi salini (Fig. 2B).

A causa dei margini alti e ripidi, che circondano quasi ovunque la *sabkha* (Fig. 1), l'unico accesso stradale (una pista in area desertica che dista circa 4,5 km dalla strada nazionale N1 che collega Tarfaya a Laayoune) si trova nella sua porzione più meridionale. Le acque dell'Oued Khwiy As-Saraq, provenienti da apporti di origine freatica caratterizzati da una relativa salinità (Barbieri & Cavalazzi, 2018 hanno misurato concentrazioni saline totali di 21.000 - 24.000 ppm), emergono alcune centinaia di metri più a sud di un salto morfologico che raggiungono dopo aver attraversato una

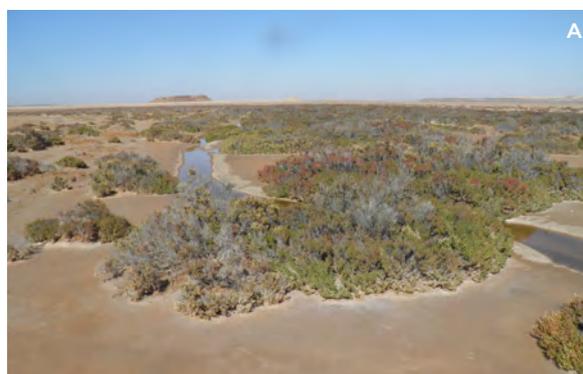


Fig. 2 - La *sabkha* Oum Dbā vista dal suo settore meridionale: A) rivolo del Oued Khwiy As-Saraq, che divaga e poi si disperde verso il centro della *sabkha*, e la vegetazione a cespugli della pianta alofila *Nitraria retusa*; B) divagazione dell'acqua del Oued Khwiy As-Saraq nei sedimenti superficiali della *sabkha* di natura argilloso - sabbiosa. Le croste di sale in formazione mostrano patine bianche.

fitta zona a giunchi e canneti; dopo questo salto, di circa 8 m (Fig. 3), le acque si immettono proprio nella suddetta porzione della depressione. A causa della morfologia verticale si formano cascatelle d'acqua che raggiungono la sottostante *sabkha*; da qui le acque si dirigono verso nord divagando e disperdendosi sulla superficie argilloso-sabbiosa e dando origine ad estese plaghe di vegetazione alofila dominate da cespugli di *Nitraria retusa* (Fig. 2A).

Nell'area intorno al salto morfologico si concentrano gli *habitat* determinati dall'acqua salina e rappresentati dalle cascatelle, dalle pozze alla base della parete (profonde fino a circa 30 cm e circondate da vegetazione a *Spartina*; Fig. 3) e dalle superfici delle rocce arenacee dove i rivoli, gli spruzzi e la nebulizzazione dell'acqua ad opera del vento mantengono sufficienti condizioni di idratazione. È in questi *habitat* idratati del bordo meridionale della *sabkha* (Fig. 4A) che vengono ospitate le co-



Fig. 3 - Il salto morfologico (circa 8 m di dislivello) dove l'Oued Khwiy As-Saraq origina cascatelle alla cui base si formano pozze permanenti circondate da vegetazione alofila a *Spartina*. Le arenarie color ocra e giallo, parzialmente collassate e frammentate, forniscono i materiali che il vento deposita e che vengono cementati dai precipitati di carbonato di calcio.

munità dei microrganismi (diatomee e cianobatteri) produttori di mucillagini (biofilm microbici), sia quelle viventi che quelle parzialmente o totalmente ricoperte da precipitati minerali (Fig. 4), in particolare carbonato di calcio. Le comunità microbiche sono ospitate in tappeti mucilluginosi, spessi da pochi millimetri fino a oltre un paio di centimetri, con colori che variano da tonalità del marrone chiaro allo scuro e al verde. Laddove sono più ispessiti, i biofilm microbici appaiono laminati e in parte interessati da una precipitazione minerale che ha luogo all'interno dei tappeti di mucillagine vivente (Fig. 4B). È questa precipitazione minerale che è in grado di "fissare" le morfologie superficiali della *sabkha* in modo permanente e preservarle nella registrazione fossile. Esse potranno così risultare indicative di questi *habitat* e divenire potenziali custodi di strutture bioindotte (ad esempio porzioni di biofilm parzialmente degradato, cellule microbiche, alghe unicellulari, ecc.) come quelle rappresentate nelle figure 4C e 4D).

Micromorfologie superficiali: tipologie e origine

Nel margine meridionale della *sabkha* Oum Dba ci sono spessi biofilm microbici che si presentano ancora viventi, oppure come sedi di pre-

cipitazioni minerali in corso o come luogo ove osservare micromorfologie superficiali ormai totalmente mineralizzate. Ciò perché queste micromorfologie e relative mineralizzazioni possono i) derivare da interazioni tra comunità microbiche e fattori fisici capaci di indurre micro-*habitat* idonei a precipitazioni minerali, oppure ii) essere le stesse micromorfologie strutture originate da biomineralizzazioni. In entrambi i casi queste tipologie si impostano su un substrato costituito da depositi eolici (sabbie, Fig. 4B), litificati da precipitazioni di carbonato di calcio e di solfato di calcio (Fig. 5), il cui spessore complessivo (indicato da indagini geofisiche) risulta di almeno 15-20 m (Sabbadini, 2014).

In assoluto la più comune micromorfologia superficiale del margine meridionale della *sabkha* è rappresentata da microterrazzetti (Fig. 4A), in parte o in toto mineralizzati. Si tratta di una micromorfologia molto ricorrente anche in ambienti geotermici, caratterizzati da acque calde oppure fredde, con esempi descritti sia in condizioni attive che fossili (Barbieri & Cavalazzi, 2018). A causa della loro frequenza in condizioni ambientali diversificate e per le interazioni tra comunità microbiche e precipitazioni minerali, queste micromorfologie possono essere considerate ottimi contenitori per strutture biologiche o per bioindicatori in genere. Di norma la loro origine è abiologica

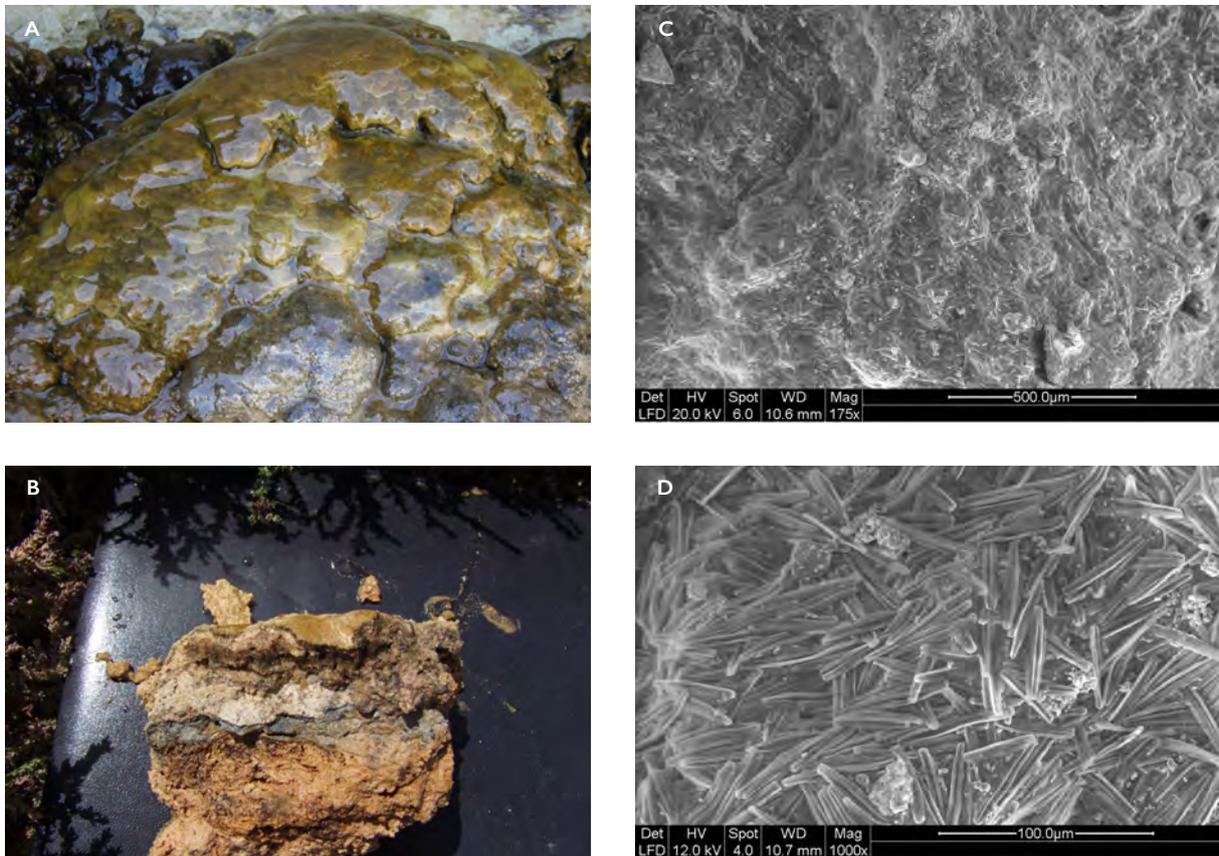


Fig. 4 - Micromorfologie a forma di terrazzi nella *sabkha* Oum Db: A) nei settori idratati alla base delle cascatelle del Oued Khwiy As-Saraq esse si presentano parzialmente mineralizzate, seppure ancora attive e ricoperte da mucillagine vivente (ampiezza dell'immagine circa 30 cm); B) un frammento, di circa 10 cm di spessore, prelevato nella mucillagine vivente del punto A. Nella parte superiore è evidente la mineralizzazione, in quella inferiore il sedimento sabbioso-arenaceo, colore ocra, di origine eolica; C, D) micrografie (in microscopia elettronica a scansione) da cui si evince che la struttura dei "terrazzetti" è in prevalenza di natura silicea perché costituita da densissime concentrazioni di valve e frustoli di diatomee aghiformi del genere *Berkeleya*. Da notare, comunque, che vi abbondano anche i precipitati di carbonato di calcio (ben evidenti soprattutto nella micrografia D, dove si presentano come masserelle di microcristalli di calcite frammiste alle valve di diatomee). È il carbonato di calcio, insieme al biofilm entro il quale questo minerale precipita, a costituire l'elemento coesivo della componente biominerale rappresentata dalle diatomee.

(Jettestuen *et al.*, 2006); si osservano anche in corso di formazione come nei travertini di Yellowstone (Hammer *et al.*, 2010; Fouke, 2011) o in quelli dell'Italia centrale (Brogi *et al.*, 2007), oppure allo stato fossile come nei travertini di Skoura (località della regione di Ouarzazate, alle porte del Marocco sahariano), dove affiora un bellissimo esempio che attende di essere studiato.

I microterrazzetti della *sabkha* Oum Db, con uno sviluppo da sub-millimetrico fino a pochi millimetri di altezza, sono di particolare interesse per la loro originale tipologia di formazione e per la composizione. Essi, infatti, sono costituiti da dense concentrazioni di frustoli di *Berkeleya*, un genere aghiforme di diatomea pennata che popola in gran numero le acque correnti (queste concentra-

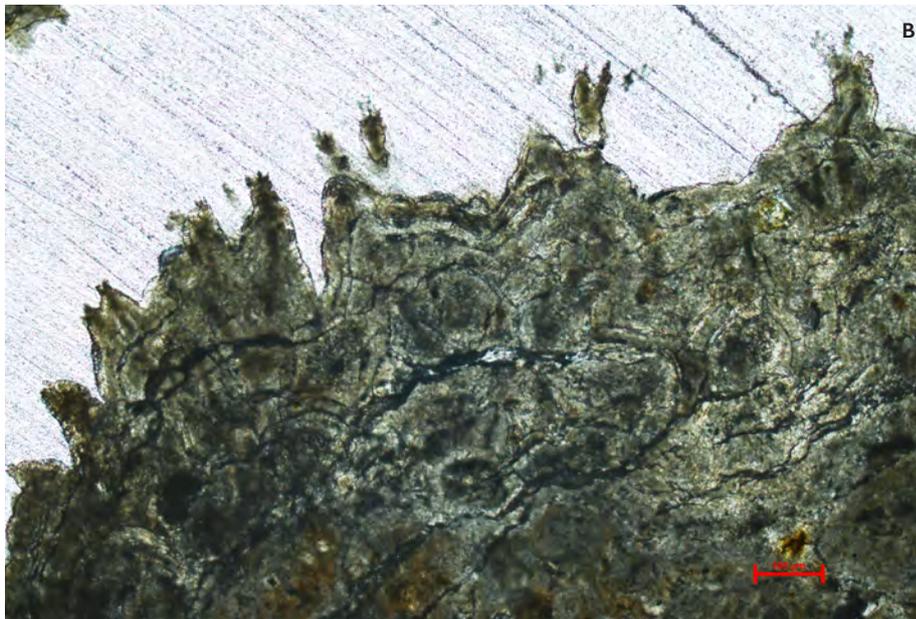
zioni, evidentemente, prevedono che estese fioriture di queste alghe possano aversi durante idonei periodi dell'anno). Frustoli e valve di *Berkeleya* si comportano come semplici granuli trasportati dai rivoli d'acqua che si immettono nella *sabkha* attraverso le cascatelle d'acqua viste in precedenza. La capacità di questi microelementi biologici di natura silicea di andare a comporre una morfologia superficiale stabile e riconoscibile deriva dalla produzione del biofilm entro il quale molte specie di diatomee bentoniche vivono, specialmente se esiste qualche significativo *stress* ambientale (Brake & Hasiotis, 2008) come nel caso di *Berkeleya*. Il biofilm, infatti, esercita una funzione protettiva per le comunità di unicellulari, ma anche coesiva tra i singoli elementi granulari che vi sono immer-



A

Fig. 5 - Depositi eolici (arenarie), cementati da carbonato di calcio a precipitazione bioindotta, nella *sabkha* Oum Dba:

A) mostra la natura quasi laminata del deposito, derivata dall'interazione tra i tappeti microbici prodotti dai cianobatteri filamentosi, gli apporti sabbiosi di origine eolica e la precipitazione del carbonato di calcio favorita dai processi di respirazione dei cianobatteri;



B

B) immagine in microscopia ottica a luce trasmessa di cianobatteri filamentosi calcificati, disposti perpendicolarmente alla superficie della roccia (orientamento fotografico), provenienti dai depositi presentati in A. Nota come i filamenti spuntino dalla roccia completamente calcificata.

si, siano essi di natura litica (sabbia o *silt*) oppure biologica (frustoli di diatomee) (Figg. 4B e 4C).

Nell'area idratata prospiciente la cascata sull'Oued Khwy As-Saraq sono osservabili anche croste carbonatiche in corso di formazione fino a completamente mineralizzate. Il carbonato di calcio, che costituisce il principale agente cementante il sedimento di origine eolica in questo settore della *sabkha* (Fig. 5A), deve la sua precipitazione al presumibile effetto dell'azione di respirazione dei cianobatteri filamentosi. Questa ipotesi della relazione tra cianobatteri e precipitazione del carbonato di calcio appare documentata, oltre che dal contesto ambientale, dai diversi valori di pH

delle acque misurati durante il giorno e la notte nei punti dove avveniva la precipitazione del minerale (Barbieri & Cavalazzi, 2018). Le comunità di cianobatteri sembrano sviluppare interazioni simbiotiche con le diatomee cui sono associate (si veda per esempio in Snoeijns & Murasi, 2004; Amin *et al.*, 2012), in grado di produrre un mutuo vantaggio per i due gruppi produttori di biofilm. Come in altre *sabkha* di zone aride, i tappeti microbici derivati dai biofilm (e costituiti da EPS, sostanze polimeriche extracellulari), hanno spessore ed estensione direttamente dipendenti dal tipo e dall'entità dell'idratazione. Oltre ad osservare la preservazione dei loro tratti morfologici nella

registrazione mineralizzata, è anche possibile individuare la natura delle colonie dei cianobatteri filamentosi e la loro organizzazione a ciuffi e ad allineamenti di filamenti (Fig. 5B).

Tutte queste strutture bio-sedimentarie (microterrazzetti a frustoli di diatomee e croste carbonatiche), riscontrabili nell'attuale sistema della *sabkha*, evidenziano un elevato potenziale di fossilizzazione; esse, infatti, sono osservabili anche nei depositi sedimentari di origine eolica sottostanti.

Rilevanza diagnostica delle micromorfologie superficiali

Oltre a comporre un insieme di *habitat* di lago salato effimero e di ambiente arido, dove precipitano i tipici minerali evaporitici (in particolare il solfato di calcio, primariamente gesso e anidrite) e l'halite, la *sabkha* Oum Dbà comprende altri *habitat* nei quali precipita anche il carbonato di calcio; e ciò è qualche cosa di meno frequente in siffatte condizioni ambientali. Per le evaporiti la precipitazione è legata a fattori dipendenti dal sistema idrologico della *sabkha*, per i carbonati è invece

indotta dall'effetto sui micro-*habitat* dell'attività di organismi fotosintetici. L'interazione tra precipitati minerali e attività biologica favorisce la preservazione di strutture e morfologie da considerarsi fossili a tutti gli effetti, anche se non nell'accezione comune che viene assegnata al termine. Mentre le micromorfologie superficiali mineralizzate da carbonato di calcio possono contenere una grande quantità di strutture biologiche di tipo procariotico (in particolare comunità di cianobatteri filamentosi e biofilm), quelle a terrazzo mostrano accumuli silicei di organismi eucarioti (diatomee). Questi ultimi non sono rari in natura, ma difficilmente vanno a costituire morfologie ricorrenti, riconoscibili e fossilizzabili, come nel caso descritto per la *sabkha* Oum Dbà. In questa morfologia superficiale la precipitazione del carbonato di calcio, che è ben documentata tra i granuli scheletrici (i cosiddetti frustoli) delle diatomee (Figg. 4C, D), assume un preciso ruolo di stabilizzazione dei granuli biogenici quando sono ancora sciolti. Questa attività di stabilizzazione favorisce, infine, la preservazione dei microfossili così come delle micromorfologie superficiali che essi hanno contribuito a formare.

Testi citati

Amin S.A., Parker M.P. & Armbrust E.V. (2012) - *Interactions between diatoms and bacteria*. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 76: 667-684.

Barbieri R. & Cavalazzi B. (2018) - *Microterracettes in Sabkha Oum Dbà (Western Sahara, Morocco): physical and biological interactions in the formation of a surface micromorphology*. Astrobiology, 18: 1351-1367.

Barth H.J. & Böer B. (2002) - *Sabkha Ecosystems - Volume I: The Arabian Peninsula and Adjacent Countries*. Springer.

Brake S. & Hasiotis S.T. (2008) - *Eukaryote-dominated biofilms in extreme environments: overlooked sources of information in the geologic record*. Palaios, 23: 121-123.

Broggi A., Capezzuoli E. & Gandin A. (2007) - *I travertini delle Terme di S. Giovanni (Rapolano Terme, Appennino settentrionale) e loro implicazione neotettonica*. Il Quaternario, 20: 107-124.

El Jorfi L., Süß M.P., Aigner T. & Mhammedi N. (2015) - *Triassic-Quaternary sequence stratigraphy of the Tarfaya Basin (Moroccan Atlantic): structural evolution,*

eustasy and sedimentation. Journal of Petroleum Geology, 38: 77-98.

Fouke B.W. (2011) - *Hot-spring Systems Geobiology: abiotic and biotic influences on travertine formation at Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA*. Sedimentology, 58: 170-219.

Hammer O., Dysthe D.K. & Jamtveit B. (2010) - *Travertine terracing: patterns and mechanisms*. In: Pedley H.M. & Rogerson M. (eds.), *Tufas and Speleothems. Unravelling and Microbial Physical Controls*. Geological Society of London, Special Publication, 336: 345-355.

Öztürk M., Böer B., Barth H.J., Breckle S.W., Clüsener-Godt M. & Khan M.A. (Eds.) (2011) - *Sabkha Ecosystems - Volume III: Africa and Southern Europe*. Springer.

Sabbadini R. (2014) - *Atlante di siti idonei per test e attività scientifica planetaria nel sud del Marocco. Individuazione e caratterizzazione. Area Alnif, Zagora e Laayoune*. Tesi di dottorato Università D'Annunzio, Chieti-Pescara.

Snoeijls P. & Mursi L.W. (2004) - *Symbiosis between diatoms and cyanobacterial colonies*. Vie Milieu, 54: 163-170.

Esiste una correlazione tra parametri biologici e contaminazione? Il caso del merluzzo polare nel Parco Nazionale della Groenlandia nord-orientale

Alice Marri*, Kim Præbel**, Davide Baroni*,
Alessandra Cincinelli***, Tania Martellini***, Simonetta Corsolini*

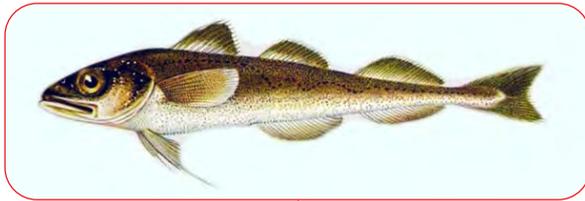
* Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, via P.A. Mattioli 4, 53100 Siena
simonetta.corsolini@unisi.it

** UiT The Arctic University of Norway, Norwegian College of Fishery Science, N-9037, Tromsø, Norway

*** Università di Firenze, Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff", Via della Lastruccia 3-13, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

Introduzione

Boreogadus saida (Lepechin, 1774) della Famiglia Gadidae, comunemente conosciuto come merluzzo polare, ha un ruolo fondamentale negli eco-



sistemi marini artici in quanto collega i livelli più bassi della rete trofica con quelli più alti (Christiansen, 2012; Hop & Gjørseter, 2013) (Fig. 1): si nutre principalmente di plancton o di piccoli crostacei e, a sua volta, costituisce un'importante fonte di cibo per molti mammiferi e uccelli marini. Pur non essendo di grande interesse commerciale, il merluzzo artico è utilizzato per il suo elevato contenuto in olio di fegato, nonché come materia prima nella preparazione di mangime per pesci. La specie, che presenta una vita media di 5-7 anni, è di piccole

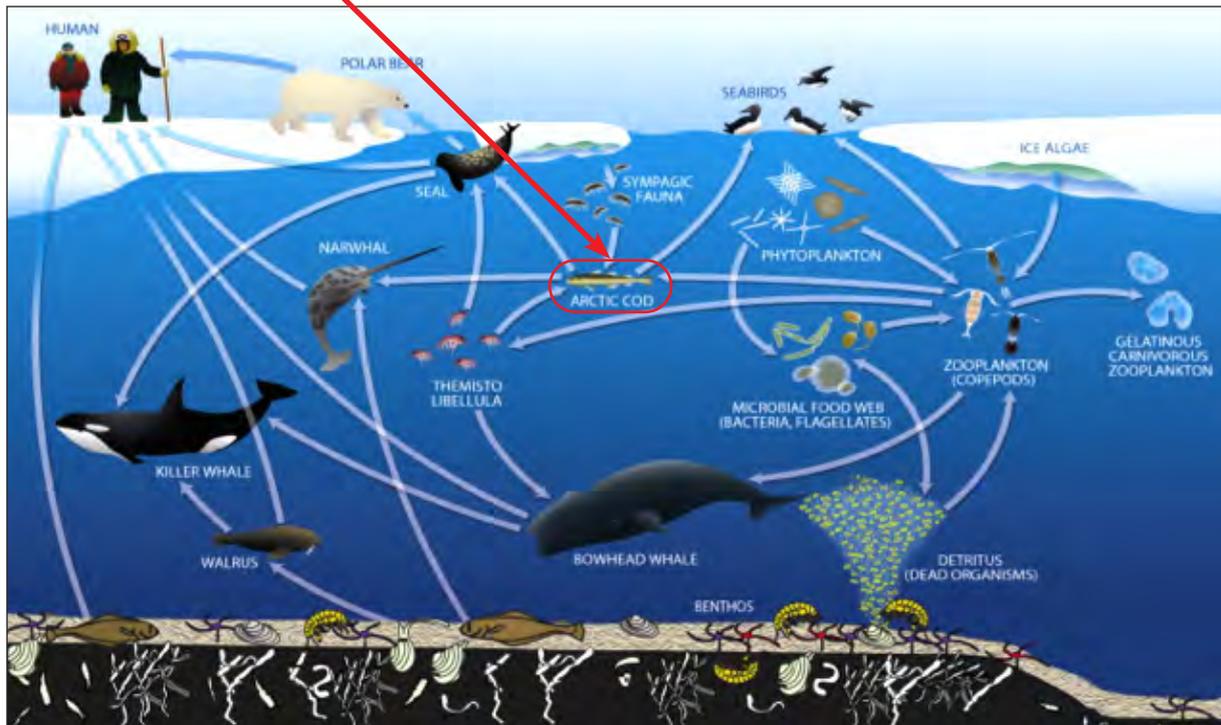


Fig. 1 - *Boreogadus saida* e illustrazione semplificata di una rete alimentare artica (Gérald Darnis Graphic, <http://www.nunatsiaqonline.ca>).

dimensioni e solo raramente raggiunge i 30 cm di lunghezza. Le differenze dimensionali più evidenti si riscontrano solitamente tra esemplari che vivono in aree con caratteristiche ambientali diverse (ad esempio, quelle interne ai fiordi e quelle situate in mare aperto; Nahrgang *et al.*, 2014). Il merluzzo artico è considerato un pesce criopelagico perché i giovani esemplari si nutrono principalmente di piccole larve e uova di copepodi reperite presso la superficie inferiore del *pack* (ghiaccio) marino (Hop & Gjørseter, 2013). Gli adulti presentano una dieta più varia nutrendosi anche di copepodi, piccoli pesci e, in alcuni casi, di individui della propria specie (Hop *et al.*, 2002a; Hop & Gjørseter, 2013). In proposito, si ricorda quanto trovato nello stomaco di esemplari di *B. saida* raccolti in un fiordo della Groenlandia (Dove Bugt Fjord): il copepode *Metridia longa* (Christiansen, 2012), caratteristico delle acque profonde dei fiordi (Hop *et al.*, 2002b), e l'eufausiaceo *Thysanoessa inermis*, che effettua migrazioni verticali nella colonna d'acqua (Wallace *et al.*, 2010). Forme adulte di merluzzo artico possono rinvenirsi sino alla profondità di 1000 m. Sopravvivono nelle acque fredde polari grazie alla presenza di proteine antigelo contenute nel loro sangue (Hop & Gjørseter, 2013). Quest'ultima peculiarità, associata alla capacità di sapersi adattare facilmente al variare della salinità, è responsabile della particolare abbondanza del taxon nelle acque artiche.

Ricerche recenti sulla specie nell'Atlantico nord-orientale hanno mostrato sostanziali differenze genetiche nelle popolazioni di *B. saida*. Queste differenze, osservate in particolare tra individui che vivono all'interno dei fiordi e quelli di mare aperto (Fevolden *et al.*, 2012; Andersen *et al.*, 2015; David *et al.*, 2015; Madsen *et al.*, 2016), sembrano legarsi all'influenza dei parametri ambientali (temperatura, salinità, ecc.) sui comportamenti delle popolazioni e sui cicli biologici.

Dalla consultazione della letteratura scientifica emerge una carenza di dati sulle possibili relazioni tra i parametri biologici (lunghezza, età, peso, stato di salute, momento del ciclo biologico) della specie e l'accumulo in essa di contaminanti organici

persistenti. Scopo dell'articolo è proprio quello di contribuire a ridurre tale carenza.

I contaminanti organici persistenti (POPs) nella regione artica

I POP (dall'acronimo inglese POPs: *Persistent Organic Pollutants*) sono composti artificiali che mostrano le seguenti caratteristiche: sono persistenti (ovvero rimangono inalterati nell'ambiente perché gli agenti atmosferici e/o biologici non sono in grado di modificarne la struttura chimica) per cui possono raggiungere aree anche molto lontane dal luogo di origine (ad esempio le regioni polari); possono venire accumulati nei tessuti degli organismi; possono produrre effetti tossici (SC-POPs 2004). Nel 2004 è stata firmata a Stoccolma una convenzione internazionale, promossa dalle Nazioni Unite, avente l'obiettivo di proteggere l'ambiente e l'uomo dai POP. Ciò, ovviamente, testimonia l'importanza del loro studio. Fra l'altro, ai 12 contaminanti presi in considerazione inizialmente se ne sono aggiunti nel tempo molti altri (SC-POPs 2004).

Il trasporto aereo rappresenta la modalità di diffusione dei POP più rilevante. Nelle regioni temperate delle medie latitudini, corrispondenti anche ai luoghi principali di emissione (produzione e uso) di questi composti, le temperature favoriscono l'evaporazione e lo spostamento verso le aree più fredde a nord e a sud dell'Equatore. Al diminuire delle temperature i POP tendono a ricadere al suolo in forma secca o umida e in base alle loro proprietà possono subire vari cicli di evaporazione e deposizione secondo un processo definito distillazione frazionata (Wania & Mackay, 1993). Questi contaminanti possono essere trasportati anche dalle masse d'acqua (correnti oceaniche, fiumi) e dai ghiacci (terrestri e marini) in spostamento (AMAP, 2004; de Wit *et al.*, 2006); in misura molto minore, anche dagli organismi migratori. Una volta raggiunte le regioni polari, le basse temperature e la ridotta radiazione solare ne riducono l'evaporazione favorendone la persistenza; in altre parole, tali

regioni divengono per essi una “trappola fredda”. Lo scioglimento dei ghiacci, stagionale o provocato dal riscaldamento globale, provoca un rilascio di quei composti che fino ad allora erano rimasti intrappolati, rendendoli così nuovamente disponibili per essere bioaccumulati dagli organismi (Hop *et al.*, 2002a; AMAP, 2004; Corsolini *et al.*, 2006).

Gli organismi che vivono nelle aree polari usano il grasso, presente come strato sottocutaneo o come rivestimento esterno, per difendersi dal freddo; il grasso, inoltre, è un'importante riserva energetica sfruttata per sopravvivere nella stagione invernale, quando la carenza di cibo impone lunghi periodi di digiuno (Wolkers *et al.*, 2004; Letcher *et al.*, 2010; Muir & de Wit, 2010). I POP sono lipofili, ovvero tendono ad associarsi ai lipidi; tale caratteristica contribuisce al loro bioaccumulo e all'insorgere degli effetti tossici. Ciò spiega perché il Consiglio Artico (<https://www.amap.no/>) si occupa di monitorarne la presenza nelle regioni artiche; nel 1991 istituì l'*Arctic Monitoring and Assessment Programme* (AMAP) con lo scopo di verificare lo stato di salute degli organismi e di controllare le minacce derivanti dall'azione dell'uomo, inclusi gli effetti della contaminazione da parte dei POP.

I difenileteripolibromurati (PBDEs) sono composti sintetizzati dall'uomo e largamente utilizzati come ritardanti di fiamma. I primi dati della presenza nell'ambiente di questi contaminanti organici persistenti risalgono al 1981, quando fu rilevata in esemplari di luccio in Svezia (Andersson & Blomkvist, 1981) e al 1987, quando fu riconosciuta nei muscoli di uccelli marini e di foche provenienti dalle Isole Svalbard (Jansson *et al.*, 1987). Pur usati da molte decadi, le loro proprietà tossiche sono emerse solo tra la fine degli anni '90 e l'inizio di questo secolo. Le miscele commerciali di PBDE più comuni sono denominate Penta-BDE e Octa-BDE; esse sono caratterizzate da una prevalenza di molecole con cinque e otto atomi di bromo rispettivamente (La Guardia, 2006). La loro domanda globale, stimata nel 2001, era di 7500 la prima e di 3790 tonnellate/anno la seconda (de Wit *et al.*, 2010). Erano e sono presenti in una vasta gamma di prodotti, come materiali da costruzione, appa-

recchiature elettriche, veicoli a motore, plastiche e tessuti (Wolkers *et al.*, 2004; Kelly *et al.*, 2008b). Il grado di tossicità e la facilità con cui possono essere rilasciati dai prodotti che li contengono (Alaee *et al.*, 2003) hanno portato al loro inserimento, nel 2009, nella lista dei POP della Convenzione di Stoccolma.

La famiglia dei PBDE comprende 209 molecole (congeneri) costituite da un doppio anello fenilico con un ponte ossigeno e un numero variabile da 1 a 10 di atomi di bromo; il numero e la posizione degli atomi di bromo nella molecola di difenile influenzano le loro caratteristiche chimico-fisiche e quindi la loro affinità per i lipidi e la loro persistenza (Corsolini *et al.*, 2006). In particolare, diversi studi hanno dimostrato che i PBDE con meno di cinque atomi di bromo tendono ad accumularsi maggiormente nelle zone polari essendo più volatili e quindi in grado di essere trasportati lontano dai luoghi di produzione/uso (Wania & Dugani, 2003). Il Deca-BDE, il congenere meno volatile, è stato rilevato già da alcuni anni in ecosistemi delle regioni artiche (de Wit *et al.*, 2006; Muir & de Wit, 2010). Per le sue caratteristiche ecologiche *B. saida* sembra accumulare quantità contenute di POP mentre 0,47 ng/g di PBDE (somma di tre congeneri) sono state riportate in esemplari provenienti dal Mar di Groenlandia (Corsolini *et al.*, 2016).

Prelievo in mare di *B. saida* e metodologie analitiche

Nell'ambito del programma di ricerca internazionale *TUNU Euro-Arctic marine fishes – diversity and adaptation*, coordinato dalla University of Tromsø (UiT - The Arctic University of Norway), cui il Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena partecipa dal 2003, è stata effettuata la spedizione TUNU-II (ottobre 2005) durante la quale sono stati catturati individui di *B. saida* nel sistema di fiordi della Groenlandia nord-orientale (Mare di Groenlandia). Il prelievo, permesso dalla nave da ricerca Jan Mayen (ora Helmer Hanssen), è avvenuta in

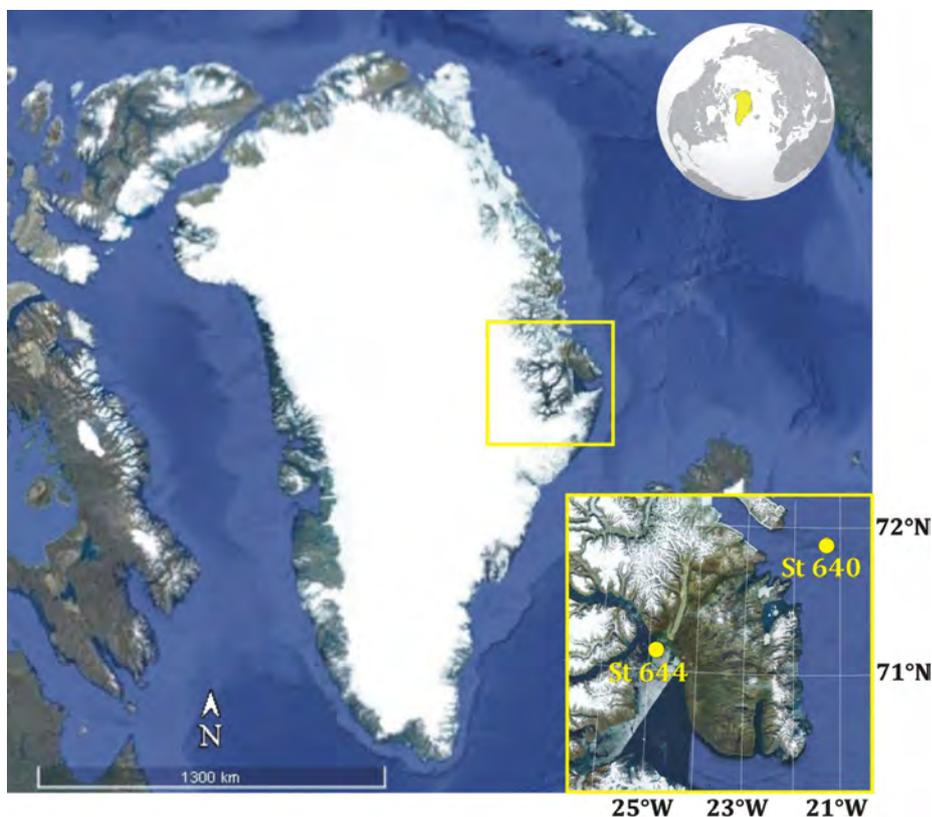


Fig. 2 - Mappa dell'area studiata (Groenlandia nord-orientale) con le stazioni di campionamento St 644 (Scorebysundfjord) e St 640 (mare aperto).

due stazioni: una (stazione 644, 71°09'N 24°57'W; n = 50) all'interno dello Scorebysund Fjord e l'altra (stazione 640, 72°N 21°03'W; n = 40) in mare aperto, al limite della piattaforma continentale (Christiansen, 2012) (Fig. 2).

Gli esemplari sono stati catturati mediante una rete Campelen Super 1800/96 NOFI alla profondità di 356 m nella prima stazione e a quella di 483 m nella seconda (Tab. 1); sono stati conservati a -20 °C fino al momento delle analisi.

	STAZIONE 640 (piattaforma continentale)	STAZIONE 644 (Scorebysund fjord)
Coordinate	72°00'N, 21°03'W	71°09'N, 24°57'W
n	9	10
Sesso	F (n = 9)	F (n = 10)
Età (anni)	2 (n = 6) - 3 (n = 2) - 4 (n = 1)	2 (n = 5) 3 (n = 5)
Lunghezza (mm)	133,7±10,9 (112,0-149,0)	135,6±9,3 (122-148)
Peso (g)	19,72±4,98 (9,71-24,99)	20,36±3,77 (15,68-25,88)
Peso fegato (g)	1,36±0,43 (0,62-2,03)	1,11±0,55 (0,56-2,04)
Peso gonadi (g)	1,00±0,59 (0,21-2,14)	0,93±0,71 (0,16-2,19)
Fulton K	0,81±0,07 (0,7-0,9)	0,81±0,04 (0,8-0,9)
HSI (%)	7,0±1,6 (4,0-9,4)	5,3±2,2 (3,5-10,7)
GSI (%)	4,7±2,1 (2,1-8,7)	4,4±3,2 (1,0-10,3)
Parasites	0,6±0,9 (0-2)	1±1,4 (0-4)
BDE-28	0,08±0,02 (0,05-0,10)	0,08±0,01 (0,06-0,09)
BDE-47	0,10±0,03 (0,07-0,16)	0,09±0,01 (0,07-0,12)
BDE-99	0,06±0,01 (0,05-0,08)	0,02±0,01 (0,02-0,05)
BDE-100	0,05±0,02 (0,03-0,06)	0,06±0,01 (0,05-0,07)
BDE-154	0,07±0,01 (0,06-0,07)	0,05±0,0 (0,05-0,05)
BDE-183	0,13±0,01 (0,12-0,15)	0,11±0,01 (0,09-0,12)
ΣPBDEs	0,33±0,13 (0,17-0,50)	0,31±0,08 (0,20-0,43)

Tab. 1 - Riepilogo dei dati di campionamento e biometrici di *Boreogadus saida* (n = numero di individui analizzati, F = femmine, m = maschi, età con numero di individui in parentesi, lunghezza: lunghezza standard; gli indici sono espressi come percentuale, media ± DS e intervallo di valori in parentesi) e concentrazione dei singoli congeneri e della loro somma (ΣPBDE, ng/g peso fresco; media±deviazione standard (DS), valori minimi e massimi in parentesi).

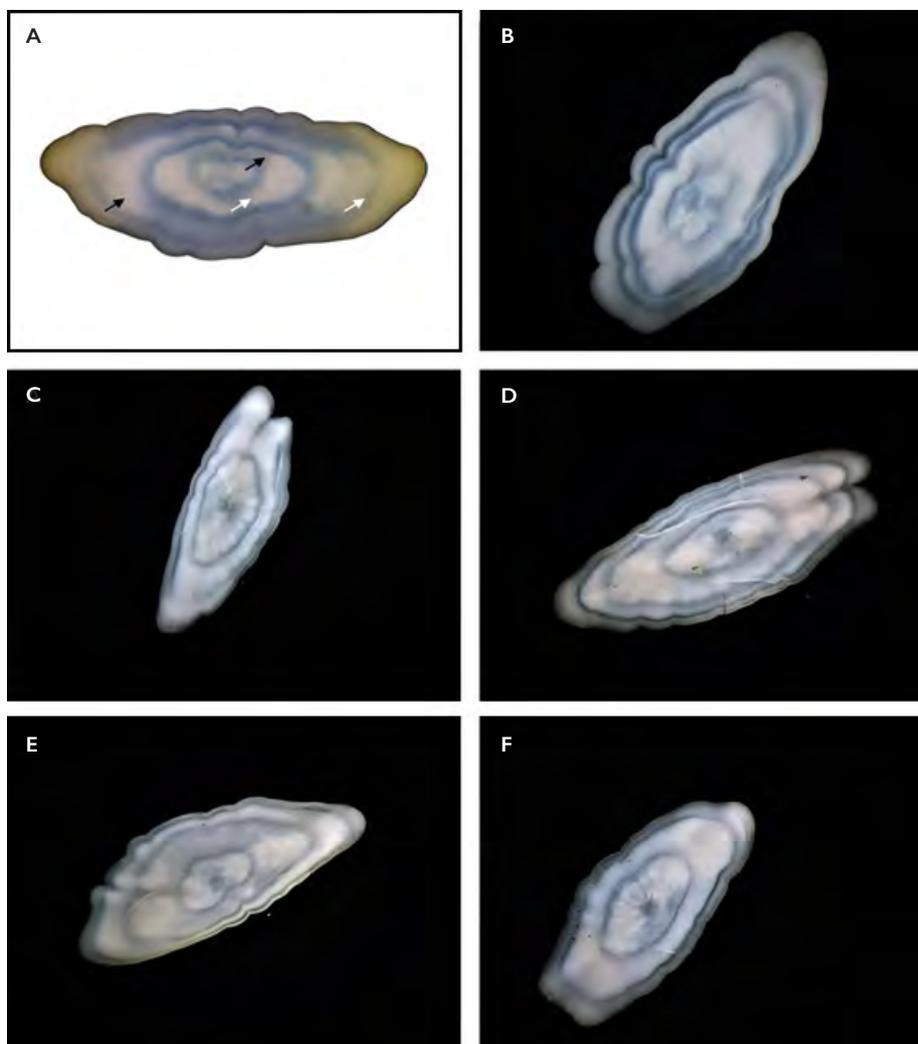


Fig. 3 - Fotografie allo stereoscopio di un otolite appartenente ad un merluzzo artico di 3 anni (le frecce nere indicano gli anelli invernali, quelle bianche gli anelli estivi). Le foto A, C, D sono di un individuo di 3 anni, la B riguarda invece un individuo di 2 anni.

Le analisi biologiche ed ecotossicologiche sono state condotte avendo cura di scegliere individui di lunghezza simile in entrambe le popolazioni per permettere la comparazione dei risultati. In ogni esemplare sono stati misurati la lunghezza, il peso totale e quello di fegato e gonadi, utili per il successivo calcolo degli indici epatosomatico e gonadosomatico (si veda più avanti). Si è inoltre proceduto alla determinazione del sesso attraverso analisi microscopica degli apparati riproduttivi e al prelievo degli otoliti per stabilirne l'età.

DETERMINAZIONE DELL'ETÀ

Gli otoliti sono piccole strutture di ossalato di calcio che si ritrovano nell'orecchio interno dei vertebrati; il loro spostamento, dovuto ai movimenti della testa, determina le sensazioni statiche e

di equilibrio. L'analisi della loro struttura permette il riconoscimento dell'età nei pesci in quanto la loro dimensione cresce allo stesso tasso di quella dell'organismo. I pesci ossei (Osteitti), come *B. saida*, presentano tre paia di otoliti chiamati sagitte, lapilli e asterischi; di solito essi mostrano una struttura lamellare concentrica ed una crescita stagionale non sempre regolare dovuta a diversi fattori ambientali e alla disponibilità di cibo (gli accrescimenti sono più rapidi durante l'estate e più lenti durante l'inverno) (Fig. 3). La stima dell'età deriva dal conto degli anelli concentrici che hanno colorazioni differenti a seconda della stagione. Tale conto è stato eseguito nel 2016 presso il Museo Nazionale dell'Antartide Felice Ippolito di Siena, attraverso l'utilizzo di uno stereo-microscopio (la tecnica prevede di immergere gli otoliti in un liqui-

do chiaro, illuminarli dall'alto e osservarli contro uno sfondo scuro). La lettura è stata ripetuta tre volte per ridurre l'errore.

GLI INDICI EPATOSOMATICO E GONADOSOMATICO

Gli indici epatosomatico (HSI) e gonadosomatico (GSI) (Rösch, 2000; Barton *et al.*, 2002) sono usati in ittologia per ottenere informazioni sullo stato di salute dei pesci; rappresentano, inoltre, un valido strumento per lo studio del bioaccumulo di sostanze contaminanti in quanto l'inquinamento ambientale può influenzarli (Balk *et al.*, 1993). Il primo indice si ottiene calcolando il rapporto tra il peso del fegato e il peso totale dell'individuo, il secondo tra il peso delle gonadi e il peso totale dell'individuo; solitamente si esprimono in percentuale. L'HSI, associato all'attività del fegato, è strettamente correlato alla disponibilità di cibo, al ciclo stagionale e alle condizioni ambientali (su quest'ultimo punto si ricorda che il fegato è considerato un'importante zona di accumulo per le sostanze nocive e svolge una rilevante funzione di detossificazione). Il GSI è utilizzato per identificare la stagione riproduttiva di una specie (presenta valori massimi durante la maturità sessuale per poi diminuire); può essere influenzato dalla disponibilità di cibo e dalla temperatura.

FATTORE DI CONDIZIONE K

Il fattore di condizione K (Fulton K) è impiegato per raccogliere informazioni sullo stato nutrizionale e di salute del pesce, conoscendone il peso e la lunghezza. È fortemente influenzato dall'*habitat* in cui l'animale vive, dalla disponibilità di cibo e dalla stagionalità. Indicato con un numero compreso tra 0 e 1, presenta i valori maggiori durante la stagione riproduttiva.

ANALISI CHIMICHE

I campioni di muscolo dorsale di merluzzo polare sono stati analizzati per misurare le concentrazioni di 24 congeneri di PBDE. Dopo una fase di estrazione (*Accelerated Solvent Extraction*, ASE), attraverso l'uso di solventi ad elevate temperature, si è passati a quella di purificazione da eventuali

residui organici e quindi i contaminanti sono stati separati dalle impurità mediante tecniche di cromatografia su colonna impaccata.

La determinazione qualitativa e quantitativa dei contaminanti è avvenuta mediante gas-cromatografia accoppiata a spettrometria di massa (GC-MS) (Corsolini & Sarà, 2017); questa tecnica è riconosciuta come il principale strumento per la determinazione dei contaminanti organici semi-volatili all'interno delle matrici ambientali.

Le concentrazioni dei PBDE sono espressi in ng/g peso fresco.

Risultati e considerazioni conclusive

PARAMETRI BIOLOGICI

Gli esemplari di *B. saida* analizzati non hanno mostrato differenze significative ($p > 0,05$) nei valori di lunghezza e peso. La lunghezza e il peso degli individui catturati in mare aperto erano 112-149 mm e 9,7-25 g, quelli catturati nel fiordo erano 122-148 mm e 15,7-25,9 g; la loro età era compresa tra 2 e 4 anni (Tab. 1). Negli individui di 2 anni catturati in mare aperto e nel fiordo, i suddetti valori erano pari a 133 ± 11 mm e 20 ± 6 g e a 134 ± 11 mm e 19 ± 4 g rispettivamente; negli individui di 3 anni raccolti in mare aperto le dimensioni e il peso erano minori (128 ± 7 mm, 17 ± 1 g) rispetto agli individui di 2 anni, anche se non sono emerse differenze statisticamente significative ($p < 0,05$). Gli esemplari del fiordo avevano una lunghezza di 138 ± 4 mm ed un peso di 21 ± 4 g. È stato catturato un solo individuo di 4 anni (149 mm, 25 g).

Il processo di congelamento comporta spesso una perdita di acqua dai tessuti con conseguente riduzione dei valori di peso e lunghezza (Ogle, 2009). In questo studio è stata misurata la lunghezza standard (SL) ed è stato riportato che può differire anche di 10 mm (Melnikov & Chernova, 2013). Per tale ragione il confronto dei risultati con i dati della letteratura deve essere condotto con estrema cautela. Alcuni esemplari raccolti nell'Artico canadese ed appartenenti alle classi 2 e 3 anni hanno mostrato lunghezze inferiori e pari a $8,94 \pm 0,6$ cm

e $11,73 \pm 0,42$ cm (Melnikov & Chernova, 2013). Lo stesso andamento è stato rilevato in esemplari prelevati nell'Oceano Artico poiché in questi sono stati riconosciuti una lunghezza totale di $76,8 \pm 16,6$ mm ed un peso di $3,27 \pm 2,5$ g (David *et al.*, 2016). A parità di età, gli individui più lunghi sono stati catturati in Norvegia, nel Porsangerfjorden (Christiansen & Fevolden, 2000), e nel Mare di Barents (Susannå & Christiansen, 1997). Da rilevare che il confronto può essere influenzato anche dalla selezione iniziale degli individui studiati.

Gli indici HSI, GSI e Fulton K sono risultati rispettivamente pari a $7,0 \pm 1,6\%$, $4,7 \pm 2,1\%$ e $0,81 \pm 0,07$ negli esemplari raccolti in mare aperto, a $5,3 \pm 2,2\%$, $4,4 \pm 3,2\%$ e $0,81 \pm 0,04$ in quelli del fiordo (Tab. 1). Nonostante le dimensioni inferiori, gli esemplari viventi in mare aperto hanno presentato un valore di HSI maggiore rispetto a quelli del fiordo e comparabile con quello misurato in uno studio del 2016 (Nahrgang *et al.*, 2016) su esemplari pesca-

ti tra settembre e novembre. Il valore inferiore di HSI misurato negli individui del fiordo potrebbe essere indice di condizioni locali meno favorevoli. L'indice gonadosomatico (GSI), solitamente inferiore al 5% alla fine della stagione estiva, può raggiungere il 30% in individui maturi durante il periodo riproduttivo (Nahrgang *et al.*, 2014). I valori da noi misurati di $4,7 \pm 2,1\%$ e $4,4 \pm 3,2\%$, del tutto confrontabili con quelli identificati da David *et al.* (2016) in esemplari più giovani ($3,8 \pm 1,8\%$), sono probabilmente indicativi di una loro immaturità sessuale.

CONCENTRAZIONI E ANDAMENTO DEI PBDE NEL MERLUZZO ARTICO

Le concentrazioni di PBDE rilevate nei tessuti di *B. saida* sono riportate in tabella 1; la loro presenza nei tessuti degli esemplari studiati conferma l'avvenuto trasporto negli ecosistemi artici, come del resto riportato in studi precedenti riguardanti questa specie o altre (Corsolini *et al.*, 2016). Dei 24 congeneri ricercati, solo i BDE-28, -47, -99, -100, -154 e -183 sono stati trovati in quantità misurabili (Tab. 1, Fig. 4). Le concentrazioni medie erano contenute e pari a $0,33 \pm 0,13$ ng/g nei pesci catturati in mare aperto e $0,31 \pm 0,08$ ng/g in quelli del fiordo. In proposito è da evidenziare che la distribuzione dei congeneri non è omogenea alle diverse latitudini ma è influenzata dalle proprietà chimico-fisiche. Infatti, mediante il fenomeno della distillazione frazionata (Wania & Mackay 1993; AMAP, 2004), i PBDE a basso livello di bromurazione (es. BDE-28, -47) tendono a raggiungere più facilmente le latitudini polari rispetto a quelli a più elevato grado di bromurazione (es. BDE-154, -183), che sono più presenti alle latitudini temperate e tropicali (de Wit *et al.*, 2006).

Il congener BDE-47 è stato quantificato in tutti gli esemplari analizzati: le concentrazioni rilevate erano di $0,10 \pm 0,03$ ng/g in quelli raccolti in mare aperto e di $0,09 \pm 0,01$ ng/g in quelli del fiordo. Il BDE-47 è il principale componente delle formulazioni di Penta-BDE (La Guardia *et al.*, 2006) ed è segnalato come il più abbondante nella fauna artica, inclusi i pesci (Kelly *et al.*, 2008b; Corsolini *et*

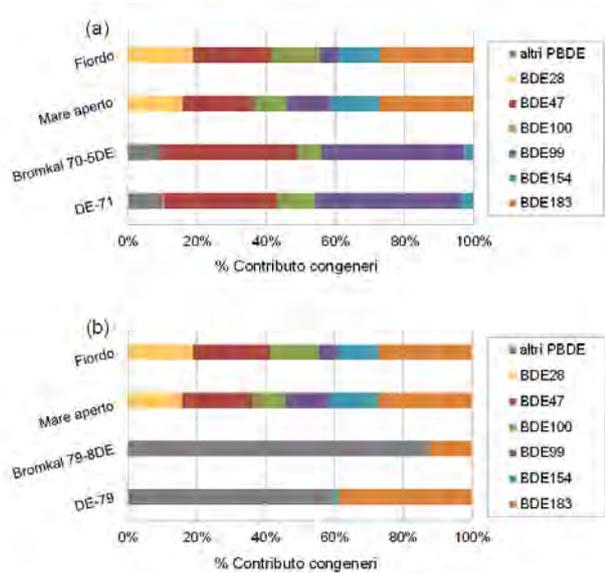


Fig. 4 - Confronto tra la composizione delle miscele commerciali e il contributo dei congeneri di PBDE rilevati nei campioni:

a) miscele di PentaBDE (nome commerciale Bromkal-70-5DE e Bromkal-DE-71); ("altri PBDE" esprime la somma dei congeneri di PBDE presenti nelle miscele tecniche e non nei campioni e sono i BDE-17, -49, -66/42, -102, -85, -126/155, -153, -139, -140, -138);

b) miscele di OctaBDE (nome commerciale Bromkal-79-8DE e Bromkal-DE-79); "altri PBDE" esprime la somma dei congeneri di PBDE presenti nelle miscele tecniche e non nei campioni e sono i BDE-144, -153, -138, -180, -171, -201, -197, -203, 196, -208, -207, -206, -209).

al., 2016). I congeneri BDE-28, -47, -99 e -100, rappresentanti il 70-99% del residuo, sono stati quantificati in più dell'80% dei campioni. Tali congeneri, significativi componenti delle formulazioni commerciali di Penta-BDE e di Octa-BDE, sono stati trovati in quantità misurabili negli organismi artici (de Wit *et al.*, 2006; Wolkers *et al.*, 2006); inoltre, la loro presenza è stata accertata negli organismi di tutti gli ambienti studiati (Watanabe *et al.*, 2003).

Oltre al trasporto globale che influenza i livelli ambientali, una delle possibili spiegazioni della presenza (in quantità relative diverse) dei singoli congeneri negli organismi è fornita dalla dieta individuale, che può variare in base all'ambiente frequentato e alla disponibilità locale di risorse. Un'altra spiegazione al diverso contributo dei congeneri è legato ai processi metabolici che ne regolano la biotrasformazione e/o l'eliminazione. È stato ipotizzato che esista un'eliminazione preferenziale del BDE-99 rispetto agli altri congeneri. Alcuni pesci sarebbero in grado di metabolizzare i PBDE mediante meccanismi di debromurazione, secondo due possibili percorsi: BDE-154 BDE-99 BDE-47 oppure BDE-153 BDE-100 BDE-49 (Ikonomou *et al.*, 2002).

Nonostante le concentrazioni di BDE-47 e -183 rilevate negli esemplari studiati siano contenute, le concentrazioni di BDE-47 e -183 rilevate in questa ricerca mostrano valori superiori di un ordine di grandezza rispetto agli altri congeneri; ciò è indicativo, almeno per il primo, di una possibile derivazione da processi di debromurazione. Il BDE-183 era il congenere più abbondante negli esemplari di entrambe le popolazioni (0,13±0,01 ng/g in quelli di mare aperto e 0,11±0,01 ng/g in quelli del fiordo; Tab. 1, Fig. 4). Ciò potrebbe essere dovuto dall'esposizione di *B. saida* ad una delle formulazioni commerciali di Octa BDE, in cui il BDE-183 è tra i maggiori componenti (42% nel DE79 e 12,6% nel Bromkal 79-8DE; Kelly *et al.*, 2008b; La Guardia *et al.*, 2006). La sua presenza nei tessuti di *B. saida* potrebbe essere dovuta, oltre che al trasporto a lungo raggio, a sorgenti locali (de Wit *et al.*, 2006; Corsolini *et al.*, 2016); infatti, la stazione di campionamento nel fiordo è vicina al villag-

gio di Ittoqqortoormiit (Semersooq, Groenlandia) dove vivono circa 450 persone. Inoltre, l'uso di ritardanti di fiamma è comune in queste aree perché l'umidità dell'aria è molto bassa e gli incendi si propagano con grande facilità. La presenza di contaminanti come i PBDE in zone non industrializzate e remote è stata riportata in molte ricerche compiute in regioni artiche e antartiche (Corsolini *et al.*, 2006, 2016). Fra l'altro, in un villaggio della Groenlandia meridionale sono state accertate concentrazioni di PBDE più elevate rispetto ad aree antropizzate e ciò ha fatto supporre un loro rilascio dall'inceneritore locale (Christensen *et al.*, 2002).

CONFRONTO TRA LE CONCENTRAZIONI DEI PBDE E I PARAMETRI BIOLOGICI

La figura 5 mostra un'interessante relazione inversa tra le concentrazioni dei PBDE e i parametri biologici quali lunghezza, peso e Fulton K ($p < 0,05$). Non sono emerse invece particolari relazioni tra concentrazioni di PBDE nelle singole popolazioni e altri parametri quali età, HSI (%), GSI (%) e Fulton K. Nella popolazione del fiordo l'incremento della contaminazione all'aumentare delle dimensioni dei pesci era significativo, mentre in quella di mare aperto tale andamento era opposto. Le minori dimensioni degli individui pescati in mare aperto potrebbero essere dovute a minore disponibilità di cibo e quindi essere collegate al minor bioaccumulo. Al fine di poter interpretare meglio tali risultati si ricorda che *B. saida* è una specie opportunistica, ovvero si nutre della risorsa alimentare più abbondante nell'ambiente che frequenta (Craig *et al.*, 1982; Ajiad & Gjørseter, 1990; Gray *et al.*, 2016); ha inoltre abitudini pelagiche ma può frequentare anche acque profonde dove può cibarsi di organismi bentonici (Hop & Gjørseter, 2013). Gli individui di maggiori dimensioni, infine, si nutrono di prede più grandi e di una maggiore varietà di specie rispetto ai giovani (Craig *et al.*, 1982; Ajiad & Gjørseter, 1990; Gray *et al.*, 2016).

Recenti ricerche hanno dimostrato una differenziazione genetica tra popolazioni dell'Atlantico nord-orientale, con particolare riferimento a quelle che vivono all'interno e all'esterno dei fiordi (Mad-

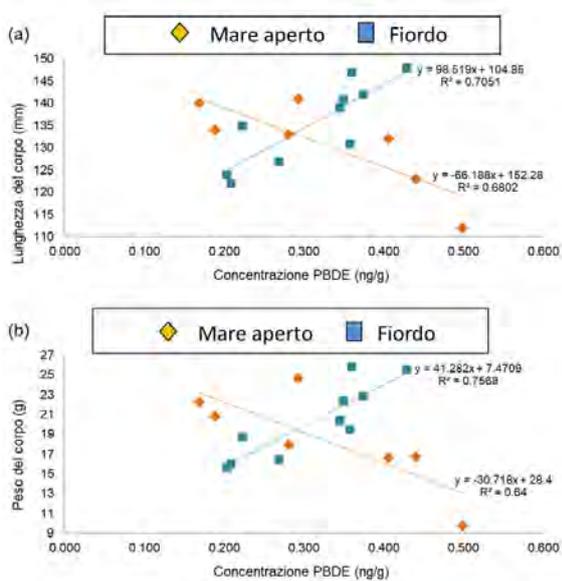


Fig. 5 - Correlazione tra caratteristiche morfologiche di *B. saida* e concentrazioni di PBDE nel muscolo degli stessi individui:
a) lunghezza (mm) vs PBDEs (ng/g);
b) peso (g) vs PBDE (ng/g ww).

sen *et al.*, 2016). Tale divergenza è ritenuta una conseguenza delle differenti condizioni di temperatura, salinità e luce (Fevolden *et al.*, 2012; Andersen *et al.*, 2015; David *et al.*, 2015), parametri che notoriamente controllano la distribuzione del plancton (Degerlund & Eilertsen, 2010). Le popolazioni di *B. saida* non sono verosimilmente in contatto tra loro perché confinate nei due diversi ambienti e questa condizione rappresenta il principale presupposto per l'induzione della divergenza genetica. L'accumulo di contaminanti da parte degli organismi (bioaccumulo) dipende da variabili ambientali, biologiche (ovvero genetiche) ed ecologiche; di conseguenza, la relazione tra concentrazioni di PBDE e parametri morfologici delle due popolazioni potrebbe essere dovuta all'interazione tra fattori ambientali e fenomeni di bioaccumulo e biotrasformazione, in cui la disponibilità di cibo potrebbe giocare un ruolo fondamentale; secondo Hop & Gjørseter (2013), *B. saida* trascorre i primi stadi vitali nel ghiaccio marino nutrendosi di zooplankton; nella fase adulta, invece, fa vita pelagica pur continuando a frequentare il ghiaccio marino.

Le coste della Groenlandia nord-orientale sono

lambite da una corrente che fluisce verso sud portando acque fredde dall'Oceano Artico, mentre in acque più profonde e lontane dalla costa è presente il contributo delle acque calde della Corrente nord-atlantica (Cleeman *et al.*, 2000; Rudels *et al.*, 2005; Christiansen *et al.*, 2016) (Fig. 6). Migrando verso sud il ghiaccio marino artico incontra le acque più calde per cui si scioglie e rilascia i contaminanti in esso intrappolati rendendoli nuovamente biodisponibili (Gradinger *et al.*, 1999; Corsolini & Sarà, 2017). La loro presenza nei fiordi potrebbe essere quindi dovuta alla deposizione atmosferica e allo scioglimento dei ghiacci provenienti dalla calotta polare groenlandese, mentre quella in mare aperto (piattaforma continentale) alla deposizione atmosferica e al trasporto tramite le correnti provenienti da sud (Fig. 6). Nel contesto dei cambiamenti climatici in corso, questi fenomeni assumono grande rilevanza perché potrebbero influire in modo importante sul rilascio in mare o atmosfera di contaminanti intrappolati nei ghiacci.

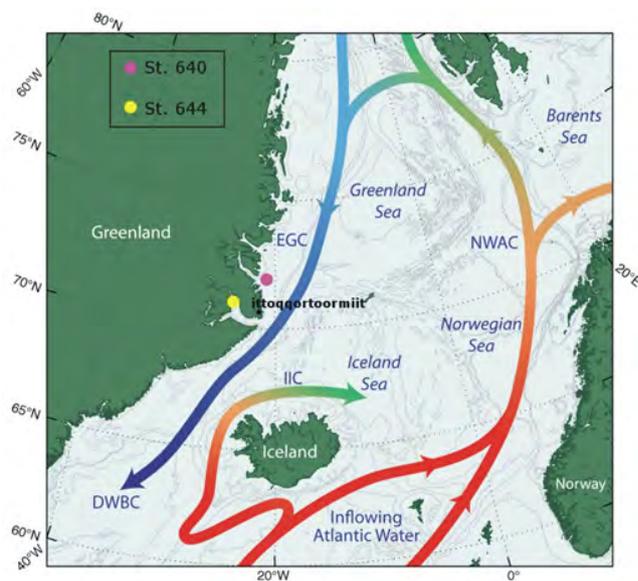


Fig. 6 - Andamento delle correnti marine lungo la costa della Groenlandia nord-orientale dove sono ubicate le due stazioni di campionamento: le frecce blu indicano le correnti fredde, le rosse quelle temperate (DWBC = Deep Western Boundary Current) (Mappa: Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution, <http://www.whoi.edu/page.do?pid=77976>). Da notare la corrente orientale groenlandese (EGC) che fluisce verso sud portando acque fredde provenienti dal bacino artico.

Gli autori ringraziano l'equipaggio della R/V Jan Mayen (ora R/V Helmer Hanssen, UiT The Arctic University of Norway) e i colleghi per la loro gentile collaborazione a bordo durante i campionamenti. Ringraziano, inoltre, la Dott.ssa Silvia Olmastroni del Museo Nazionale dell'Antartide (Siena) per aver consentito l'accesso al relativo laboratorio, la Dott.ssa Claudia Falleri del Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente (Università di Siena) per le foto degli otoliti, il Dr. Emiliano Mori del Dipartimento di Scienze della Vita, (Università di Siena) per l'aiuto nelle analisi statistiche.

Testi citati

Ajiad A.M. & Gjørseter H. (1990) - *Diet of polar cod, Boreogadus saida, in the Barents Sea related to fish size and geographical distribution*. ICES CM Documents; 1990/G: 48, <http://hdl.handle.net/11250/104775>.

Alaee M., Arias P., Sjödin A. & Bergman Å. (2003) - *An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release*. Environment International, 29(6): 683-689.

AMAP (2004) - *AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 16: 310 pp.

Andersen Ø., Johnsen H., De Rosa M.C., Præbel K., Stjelja S., Kirubakaran, T.G., Pirulli D., Jentoft S. & Fevolden S.E. (2015) - *Evolutionary history and adaptive significance of the polymorphic Pan I in migratory and stationary populations of Atlantic cod (Gadus morhua)*. Marine Genomics, 22: 45-54.

Andersson Ö & Blomkvist G. (1981) - *Polybrominated aromatic pollutants found in fish in Sweden*. Chemosphere, 10(9): 1051-1060.

Balk L., Förlin L., Söderström M. & Larsson Å. (1993) - *Indications of regional and large-scale biological effects caused by bleached pulp mill effluents*. Chemosphere, 27(4): 631-650.

Barton B.A., Morgan J.D. & Vijayan M.M. (2002) - *Physiological and condition-related indicators of environmental stress in fish*. In: Adams S.M. (Eds.), *Biological Indicators of Aquatic Ecosystem Health*. American Fisheries Society, Bethesda, 111-148.

Christiansen J.S. & Fevolden S.E. (2000) - *The polar cod of Porsangerfjorden, Norway; revisited*. Sarsia, 85(3): 189-193.

Christiansen J.S. (2012) - *The TUNU-Programme: Euro-Arctic marine fishes-diversity and adaptation*. In: *Adaptation and Evolution in Marine Environments*, 1, Springer Berlin Heidelberg, 35-50.

Christiansen J.S., Bonsdorff E., Byrkjedal I., Fevolden S.E., Karamushko O.V., Lynghammar A., Mecklenburg C.W., Møller P.D., Nielsen J., Nordström M.C., Præbel K. & Wienerroither R.M. (2016) - *Novel biodiversity baselines outpace models of fish distribution in Arctic waters*. The Science of Nature, 103(1-2): 8.

Corsolini S., Covaci A., Ademollo N., Focardi S. &

Schepens P. (2006) - *Occurrence of organochlorine pesticides (OCPs) and their enantiomeric signatures, and concentrations of polybrominateddiphenyl ethers (PBDEs) in the Adélie penguin food web, Antarctica*. Environmental Pollution, 140(2): 371-382.

Corsolini S., Pozo K. & Christiansen J.S. (2016) - *Legacy and emergent POPs in the marine fauna of NE Greenland with special emphasis on the Greenland shark Somniosus microcephalus*. Rendiconti Lincei, 27(1): 201-206.

Corsolini S. & Sarà G. (2017) - *The trophic transfer of persistent pollutants (HCB, DDTs, PCBs) within polar marine food webs*. Chemosphere, 177: 189-199.

Craig P.C., Griffiths W.B., Haldorson L. & Mc Elderry H. (1982) - *Ecological studies of Arctic cod (Boreogadus saida) in Beaufort Sea coastal waters, Alaska*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39(3): 395-406.

David C., Lange B., Rabe B. & Flores H. (2015) - *Community structure of under-ice fauna in the Eurasian central Arctic Ocean in relation to environmental properties of sea-ice habitats*. Marine Ecology Progress Series, 522: 15-32.

David C., Lange B., Krumpfen T., Schaafsma F., van Franeker J.A. & Flores H. (2016) - *Under-ice distribution of polar cod Boreogadus saida*. Polar Biology, 39(6): 981-994.

de Wit C.A., Alaee M. & Muir D.C. (2006) - *Levels and trends of brominated flame retardants in the Arctic*. Chemosphere, 64(2): 209-233.

de Wit C.A., Herzke D. & Vorkamp K. (2010) - *Brominated flame retardants in the Arctic environment-trends and new candidates*. Science of the Total Environment, 408(15): 2885-2918.

Degerlund M. & Eilertsen H.C. (2010) - *Main species characteristics of phytoplankton spring blooms in NE Atlantic and Arctic waters (68–80 N)*. Estuaries and Coasts, 33(2): 242-269.

Fevolden S.E., Westgaard J.I., Pedersen T. & Præbel K. (2012) - *Settling-depth vs. genotype and size vs. genotype correlations at the Pan I locus in 0-group Atlantic cod Gadus morhua*. Marine Ecology Progress Series, 468: 267-278.

Gradinger R., Friedrich C. & Spindler M. (1999) - *Abundance, biomass and composition of the sea ice biota of the Greenland Sea pack ice*. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 46(6): 1457-1472.

Gray B.P., Norcross B.L., Blanchard A.L., Beaudreau A.H. & Seitz A.C. (2016) - *Variability in the summer diets of juvenile polar cod (Boreogadus saida)*. Polar Biology, 39(6): 1069-1080.

- Hop H., Borgå K., Gabrielsen G. W., Kleivane L. & Skaare, J.U. (2002a) - *Food web magnification of persistent organic pollutants in poikilotherms and homeotherms from the Barents Sea*. Environmental Science & Technology, 36(12): 2589-2597.
- Hop H., Pearson T., Hegseth E.N., Kovacs K.M., Wiencke C., Kwasniewski S. & Lydersen C. (2002b) - *The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard*. Polar Research, 21(1): 167-208.
- Hop H. & Gjørseter H. (2013) - *Polar cod (Boreogadus saida) and capelin (Mallotus villosus) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea*. Marine Biology Research, 9: 878-894.
- Ikonomou M.G., Rayne S., Fischer M., Fernandez M.P. & Cretney W. (2002) - *Occurrence and congener profiles of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in environmental samples from coastal British Columbia, Canada*. Chemosphere, 46(5): 649-663.
- Jansson B., Asplund L. & Olsson M. (1987) - *Brominated flame retardants-ubiquitous environmental pollutants?* Chemosphere, 16(10-12): 2343-2349.
- Kelly B.C., Ikonomou M.G., Blair J.D. & Gobas F.A. (2008) - *Bioaccumulation behaviour of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in a Canadian Arctic marine food web*. Science of the Total Environment, 401(1): 60-72.
- La Guardia M.J., Hale R.C. & Harvey E. (2006) - *Detailed polybrominated diphenyl ether (PBDE) congener composition of the widely used penta-, octa-, and deca-PBDE technical flame-retardant mixtures*. Environmental Science & Technology, 40(20): 6247-6254.
- Madsen M.L., Nelson R.J., Fevolden S.E., Christiansen J.S. & Præbel K. (2016) - *Population genetic analysis of Euro-Arctic polar cod Boreogadus saida*. Polar Biology, 39(6): 969-980.
- Melnikov I.A. & Chernova N.V. (2013) - *Characteristics of under-ice swarming of polar cod Boreogadus saida (Gadidae) in the Central Arctic Ocean*. Journal of Ichthyology, 53(1): 7-15.
- Muir D.C. & de Wit C.A. (2010) - *Trends of legacy and new persistent organic pollutants in the circumpolar arctic: overview, conclusions, and recommendations*. Science of The Total Environment, 408(15): 3044-3051.
- Nahrgang J., Varpe Ø., Korshunova E., Murzina S., Hallanger I.G., Vieweg I. & Berge J. (2014) - *Gender specific reproductive strategies of an Arctic key species (Boreogadus saida) and implications of climate change*. PLoS one, 9(5): e98452.
- Nahrgang J., Storhaug E., Murzina S.A., Delmas O., Nemova N.N. & Berge J. (2016) - *Aspects of reproductive biology of wild-caught polar cod (Boreogadus saida)*. Polar Biology, 39(6): 1155-1164.
- Ogle D.H. (2009) - *The effect of freezing on the length and weight measurements of ruffe (Gymnocephalus cernuus)*. Fisheries Research, 99(3): 244-247.
- Rudels B., Björk G., Nilsson J., Winsor P., Lake I. & Nohr C. (2005) - *The interaction between waters from the Arctic Ocean and the Nordic Seas north of Fram Strait and along the East Greenland Current: results from the Arctic Ocean-02 Oden expedition*. Journal of Marine Systems, 55(1): 1-30.
- Rösch R. (2000) - *Gonadosomatic Index (GSI) of female whitefish (Coregonus lavaretus) in Lake Constance*. Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters, 30(2): 193-196.
- SC-POP (2004) - Stockholm Convention: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/The12InitialPOPs/tabid/296/Default.aspx>.
- Sunnanå K. & Christiansen J.S. (1997) - *Kommersiell fiske på polar torsk-erfaringer og potensiale*. Fiskeriforsknings Rapport serie 1/1997 (ISBN 82-7251-345-5), pp. 21.
- Wallace M.I., Cottier F.R., Berge J., Tarling G.A., Griffiths C. & Brierley A.S. (2010) - *Comparison of zooplankton vertical migration in an ice-free and a seasonally ice-covered Arctic fjord: An insight into the influence of sea ice cover on zooplankton behavior*. Limnology and Oceanography, 55(2): 831-845.
- Wania F. & Mackay D. (1993) - *Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions*. Ambio, 22: 10-18.
- Wania F. & Dugani C.B. (2003) - *Assessing the long-range transport potential of polybrominated diphenyl ethers: A comparison of four multimedia models*. Environmental Toxicology and Chemistry, 22(6): 1252-1261.
- Watanabe I. & Sakai S.I. (2003) - *Environmental release and behavior of brominated flame retardants*. Environment international, 29(6): 665-682.
- Wolkers H., Van Bavel B., Derocher A.E., Wiig Ø., Kovacs K.M., Lydersen C. & Lindström G. (2004) - *Congener-specific accumulation and food chain transfer of polybrominated diphenyl ethers in two Arctic food chains*. Environmental Science & Technology, 38(6): 1667-1674.

Sitografia

- <http://chm.pops.int/>
<http://www.fishbase.org/search.php>
<http://www.nunatsiaqonline.ca>
<http://www.who.edu/page.do?pid=77976>
<https://site.uit.no/tunu/>
<https://www.amap.no/>

Un antico insediamento agricolo nei pressi di Portoferraio (Isola d'Elba, Livorno): Archeobotanica e Storia

Claudio Milanesi

Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, Laboratorio Archeobotanico, Via P.A. Mattioli 4, 53100, Siena.
claudio.milanesi@unisi.it

L'Elba, la più grande isola dell'Arcipelago Toscano, è conosciuta non solo per le sue bellezze naturali ma anche per i suoi importanti giacimenti minerari sfruttati fin dall'epoca etrusca. Anche durante il dominio romano l'estrazione di minerali di ferro e la loro lavorazione hanno consentito opportunità di sviluppo e di ricchezza per l'isola; da rilevare, comunque, che accanto all'industria siderurgica andava sempre più ad affermarsi l'agricoltura attraverso la nascita di vere e proprie fattorie (analogamente a quanto verificatosi lungo la fascia costiera di Populonia). Il contenuto botanico dei depositi sedimentari di questi siti archeologici viene oggi intensamente studiato perché rappresenta un buon indicatore per la ricostruzione dell'ambiente concernente le antiche attività umane. Aly Hassan, curatore del Museo Egizio del Cairo, così si esprime in merito: "L'uomo moderno può imparare dagli errori dei suoi antenati. Analizzando in che modo i popoli antichi affrontavano problemi quali: l'inquinamento, la sovrappopolazione, la scarsità di risorse, l'assistenza, sarà più facile trattare le versioni contemporanee di questi mali".

La Paleobotanica è la disciplina che si occupa dello studio degli organismi vegetali, di origine marina e continentale, presenti nelle rocce (riguardando resti fossili, essa costituisce una branca della Paleontologia). L'Archeobotanica, invece, è la disciplina che studia i resti vegetali recuperati in contesti archeologici attraverso sottodiscipline come l'antracologia (riguarda i legni e i carboni), la carpologia (riguarda i semi), la palinologia (riguarda i pollini e le spore), ecc. Lo stretto legame tra quest'ultima e l'Archeologia (si interessa delle culture umane e delle loro relazioni con l'ambiente del passato mediante la raccolta e l'analisi delle tracce materiali che hanno lasciato) ne rileva l'importanza per la ricostruzione della storia dell'Uomo e, in particolare, per risolvere alcuni temi fondamentali nel rapporto uomo-ambiente.

Compito dell'articolo è quello di applicare metodologie archeobotaniche all'area di San Giovanni, nei pressi di Portoferraio (Fig. 1), dove è stata

trovata la documentazione archeologica di un insediamento agricolo sorto in età romano-repubblicana. Fra l'altro, da tali applicazioni è possibile aspettarsi un'integrazione alle scarse notizie storiche, riguardante la realtà vegetazionale del periodo.

Indagini archeologiche

Nel 2012 sono iniziati a San Giovanni gli scavi (Fig. 2) finalizzati a portare alla luce forni per la lavorazione del ferro di epoca etrusca e romana, viste le numerosissime scorie di ferro e di argilla concotta sparse ovunque. Dal sottosuolo è invece emerso un imponente muro, realizzato con blocchi regolari di pietra legata da malta cementizia, che doveva appartenere ad un edificio di tipo agricolo (Fig. 3). La consultazione delle fonti storiche (Alderighi *et al.*, 2013) e il recupero di alcuni bolli su *opus doliare*, hanno permesso di scoprire che i pro-



Fig. 1 - Ubicazione del sito archeologico di San Giovanni, nei pressi di Portoferraio. Nel riquadro è evidenziata la posizione dell'antica fattoria romana.

prietari di questa struttura rustica sono stati i *Valerii*, potente famiglia aristocratica romana con grandi interessi economici sia sull'Isola d'Elba che in continente. A costruirla sembra sia stato il supremo magistrato romano Marco Valerio Messalla Corvino (64 a.C. - 8 d.C.) nella seconda metà del primo secolo a.C.; dopo essere stata ereditata dal figlio adottivo Aurelio Cotta Massimo Messalino, essa fu con probabilità abbandonata a causa di un incendio (primo secolo d.C.).

Campionatura e tecniche di laboratorio

A differenza di altri resti organici, quelli botanici si recuperano nei sedimenti prevalentemente in

modeste quantità per cui è necessario disporre di tecniche di campagna e di laboratorio non distruttive. I campioni prelevati, uno per ogni sequenza sedimentaria, sono stati conservati sottovuoto in buste di plastica sterili e a temperatura ambiente. Per separare i palinomorfi dalla parte minerale i campioni sono stati sottoposti a trattamenti chimici mediante impiego di acido cloridrico, acido fluoridrico e idrossido di sodio (Girard & Renault-Miskovsky, 1969). Una migliore concentrazione di pollini e spore è stata ottenuta attraverso la flottazione dei residui con ioduri fluidi (Goeury & Beaulieu, 1979). I preparati ottenuti sono stati infine inclusi in glicerina e montati su vetrini da microscopia ottica. L'identificazione dei palinomorfi al microscopio è stata favorita dal confronto dei preparati con quelli delle collezioni del laboratorio archeobotanico.

Per quanto concerne i carboni, si rileva che essi sono stati raccolti dal collaboratore Ariano Buracchi e successivamente analizzati al microscopio ottico a luce riflessa nelle loro sezioni trasversali, tangenziali e radiali per evidenziarne i caratteri (tipi di raggi midollari, canali, tracheidi e vasi) che contraddistinguono i vari taxa. Il numero minimo di carboni da considerare per ciascun campione è fissato in modo empirico dalle curve tassonomiche, le quali indicano il numero di taxa comparsi con l'aumento del numero dei campioni osservati (Castelletti *et al.*, 2002); per questo lavoro sono state esaminate da 81 a 127 unità di carboni per taxon. I carboni sono stati infine pesati e contati per calcolarne le percentuali.



Fig. 2 - Vista dall'alto dell'area di scavo in località San Giovanni.



Fig. 3 - I resti dell'edificio di tipo agricolo.



Fig. 4 - Anfore recuperate dopo la rimozione dello strato sedimentario che copriva il manufatto.



Fig. 5 - Semi di melo recuperati nel sito.

Risultati

PALINOLOGIA

Le analisi hanno riscontrato abbondanza di ascospore e clamidospore fungine, di spore filicine (*Asplenium*) e algali (*Zygnemataceae*), nonché di pollini di angiosperme acquatiche (*Hydrocharis*). Tali palinomorfi sono tipici di suoli acidi e poveri di ossigeno (Quamar, 2014) soggetti a ristagno di umidità e a processi di decomposizione. Sono stati rilevati anche numerosi pollini sia di *Urtica*, pianta erbacea legata alle attività culturali e alla frequentazione antropica, sia di *Quercus ilex*.

ANTRACOLOGIA

Nonostante che circa il 10% dei carboni si sia presentato corroso e irriconoscibile, la parte restante è risultata riferibile a canne palustri e ad essenze arboree di tipo mediterraneo quali *Castanea*, *Quercus cerris*, *Q. ilex*, *Q. pubescens* e *Ostrya*. La stima delle curvature degli anelli di crescita ha attestato nei carboni di *Castanea* e *Q. pubescens* tronchi di circa 30-40 cm di diametro, in quelli di *Q. cerris*, *Q. ilex* e *Ostrya* rami di piccola e media pezzatura. La presenza di ife fungine carbonizzate in qualche frammento d'alburno di *Q. ilex* testimonia una raccolta a terra dopo stagionatura. L'abbondanza di micro carboni al suolo è indicativa di una combustione dovuta a un incendio (Castelletti *et al.*, 2002).

CARPOLOGIA

Durante lo scavo sono venute alla luce 3 anfore romane (Fig. 4) contenenti 10 frutti orbicolari di *Medicago tuberculata* (pianta erbacea nota come "erba medica") e circa 500 semi (Fig. 5). Le analisi hanno suggerito per questi ultimi corrispondenze morfologiche con *Malus sylvestris* (L.) Mill., una varietà di melo selvatico, e ciò nonostante la nota difficoltà di reperirli nei siti archeologici a causa della sottigliezza del tegumento (8-10 μm) che avvolge e protegge l'embrione. Con ogni probabilità, la buona conservazione dei semi è da legarsi alle condizioni anaerobiche dei depositi compatti, sia inorganici (argilla sabbiosa) che organici (residui alimentari e fibre vegetali), all'interno dei quali sono stati rinvenuti (Quamar, 2014). Da rilevare ancora che, a differenza della caratteristica spigolosità del tegumento esterno nei semi contemporanei di *M. sylvestris* (originata dal mesocarpo che durante la maturazione del frutto contiene 10 semi racchiusi a due a due in cinque carpelli compressi), quelli riesumati hanno mostrato arrotondamenti della superficie esterna (Fig. 6). Per togliere ogni dubbio circa la loro attribuzione al melo selvatico, semi contemporanei sono stati sottoposti a fermentazione in vitro; ne è risultata una morfologia esterna del tutto comparabile con quelli della fattoria romana (Fig. 7).

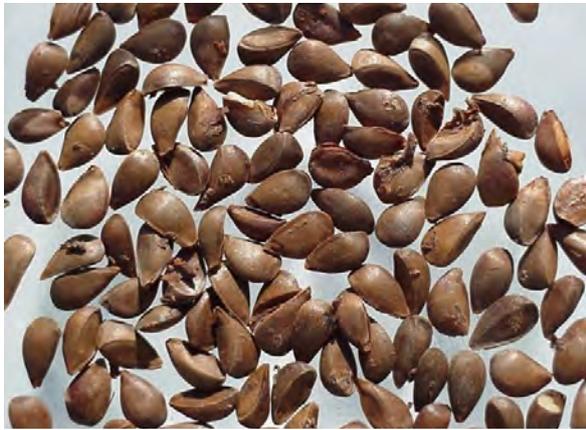


Fig. 6 - Semi di melo contemporanei, provenienti dalla collezione carpologica di confronto.



Fig. 7 - Semi di melo contemporanei, prima e dopo la fermentazione in vitro.

Conclusioni

L'abbondanza di spore e carboni (micro e macro), unita alla scarsità di pollini, conferma che nel I secolo d.C. l'ambiente della fattoria romana era variamente antropizzato e che essenze arboree dall'ottimo valore calorico, quali leccio, carpino e cerro, erano probabilmente impiegate come legna da ardere. Fra l'altro, la buona conservazione dei resti botanici dispersi è da legarsi verosimilmente alla lenta combustione dei numerosi elementi costruttivi della struttura crollati in seguito ad un incendio. L'edificio, che doveva presentare muri interni ad *opus graticium* (cannicci ancorati con chiodi a travature in castagno e roverella e poi intonacati), era probabilmente adibito a dispensa di bevande dato che le anfore erano in genere utilizzate per l'immagazzinamento e il trasporto di vino. Il ritrovamento al loro interno di una così elevata quantità di semi di melo è del tutto raro; esso potrebbe quindi suggerire una propagazione della pianta sull'isola implementata dalla deforestazione per attività siderurgica. La morfologia arrotondata dei semi potrebbe infine essere stata originata da fenomeni d'idratazione e di fermentazione; ciò avvalorava l'ipotesi che nelle anfore fosse stoccato sidro (in latino *sīcera*), bevanda leggermente alcolica e dissetante documentata sin dal X secolo a. C. in Egitto e in Asia Minore.

Ringrazio il Prof. Franco Cambi, Direttore dello scavo, per il supporto logistico, il Dott. Lucas Dugerdil dell'Ecole Normale de Lyon per le analisi palinologiche e il Dott. Paolo Castagnini del Dipartimento di Scienze della Vita per l'aiuto nel riconoscimento di alcuni reperti carpologici.

Testi citati

Alderighi L., Benvenuti M., Cambi F., Chiarantini L., Caterina-Chiesa X.H., Corretti A., Dini A., Firmati M., Pagliantini L., Principe C., Quaglia L. & Zito L. (2013) - *Ricerche e scavi all'Isola d'Elba, Produzione siderurgica e territorio insulare nell'antichità*. Aithale, Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa, serie 5, 5/2: 169-186.

Castelletti L., Cattani L., Wilkens B., Tagliacozzo A., Salvadei L., Bietti-Sestieri A.M. & Molinari M.C. (2002) - *Ricerca archeologica. Lo studio dei reperti*.

<http://www.treccani.it/enciclopedia/ricerca-archeologica-lo-studio-dei-reperti_%28Il-Mondo-dell%27Archeologia%29/>.

Girard M. & Renault-Miskovsky J. (1969) - *Nouvelles techniques de préparation en Palynologie appliquées à trois sédiments du Quaternaire final de l'Abri Cornille (Istres, Bouches du Rhone)*. Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire, 275-284.

Goeury C. & Beaulieu J.L. (1979) - *A propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux*. Pollen et Spores 21: 239-251.

Quamar M.F. (2014) - *Non-pollen palynomorphs from the late Quaternary sediments of southwestern Madhya Pradesh (India) and their palaeoenvironmental implications*. Historical Biology, 27 (8): 1-9.

Fenomeni spontanei “all’interfaccia” nei sistemi fisici naturali

Mauro Rossi

Viale Sicilia, 115 – 27100 Pavia
rossimauro@hotmail.com

Nel mondo minerale è noto da tempo il fenomeno della cosiddetta “epitassi”, a cui si deve l’esistenza di molti dei campioni cristallini più belli presenti nelle collezioni private e nei musei di tutto il mondo (Fig. 1). È un fenomeno relativamente frequente che si verifica quando un reticolo cristallino, nel suo primo costituirsi, si trova a subire l’influsso strutturale di un altro già presente nello stesso sistema, solitamente di tipo solido/liquido, oppure anch’esso in formazione nello stesso lasso di tempo di un altro. Nella attuale terminologia scientifica questa fenomenologia si definisce, per lo più, come una “interferenza costitutiva” subita da una fase (ancora) liquida posta “all’interfaccia” con una solida.

Oggi sono particolarmente diffuse, in questo



Fig. 1 - Rutile epitassiale su ematite. Provenienza: Novo Horizonte, Bahia, Brasile. Immagine tratta dal sito FMF, Minerals Forum; <https://www.mineral-forum.com/message-board/>.

campo, le ricerche sui sistemi fisici formati da minerali (per lo più silicati) ad “alta valenza di induzione”, ossia ad alta capacità di interferire sia sulla strutturazione interna ordinata di molecole d’acqua liquida, sia su soluzioni saline a diverse concentrazioni ioniche (Maccarini, 2007; Dewan *et al.*, 2013; Hou *et al.*, 2016). Solitamente questa influenza porta alla formazione di legami strutturali interni ad un liquido (quasi sempre legami a ponte di idrogeno) orientati in modo diverso da quelli non vicinali all’interfaccia interferente. L’estendersi del nuovo assetto molecolare (rete dei *clusters* molecolari del liquido) varia in funzione della capacità di influenzamento del solido e della mobilità interna della fase liquida. In determinate condizioni può arrivare ad interessare, in forma ordinata media, l’intero volume di tale fase.

Si è potuto riconoscere che la presenza di ioni liberi nel sistema favorisce notevolmente la possibilità di mantenimento della neostrutturazione nel liquido (Yang *et al.*, 2009; Siretanu *et al.*, 2014; Elbourne *et al.*, 2015; Dhopatkar *et al.*, 2016). Questo semplicemente perché qualsiasi ione, inserendosi in modo relativamente stabile nei *clusters* di sistema inizialmente “vuoti”, neutralizza, almeno parzialmente, l’energia di instabilità circolante, al contempo neutralizzando o diminuendo quella posseduta da esso stesso. In altre parole, in questo modo si elidono le “cariche residue” sempre presenti nella struttura, residui energetici costituenti la maggiore fonte di destabilizzazione della medesima poiché dal punto di vista termodinamico sono da intendersi come la maggiore fonte di rein-

duzione in continuo di legami in direzioni sempre diverse.

Un fluido idroionico, dunque, può mutare il proprio assetto interno se posto a contatto di un solido e, soprattutto, di un solido in grado di stabilire legami a ponte di idrogeno di neo-orientazione con le molecole acquose con cui viene avvicinato. A sua volta, la nuova popolazione di legami all'interfaccia può indurre entro il fluido idroionico una nuova tridimensionalità di buona parte (o di tutto) il volume del medesimo.

Fenomeni analoghi sono comuni anche nell'ambito dei tessuti organici e ne sono stati studiati molti sia *in vitro* che *in vivo*. Particolarmente eclatanti i dati di ricerca sulle influenze esercitate dai filamenti proteici esterni dei canali ionici nei confronti delle soluzioni saline corporee circolanti. Si è potuto così mettere in evidenza, in queste ultime, il cosiddetto fenomeno del *puckering* dei *clusters* idroionici vicinali alle strutture canalari di membrana, “raggrinzimento” che rappresenta per gli ioni l'unica possibilità di inserirsi, per riconoscimento sterico, nelle specifiche vie d'accesso all'interno cellulare (Fig. 2).

Possiamo comunque affermare che nei viventi il fenomeno di “influenza d'interfaccia” si verifica ogni volta che i liquidi idroionici vengono in contatto con tessuti formati (ed è praticamente la norma) da una ossatura molecolare interna del tipo *High Tetraedrality Chain*, ossia da catene di tetraedri molecolari i cui componenti atomici sono esclusivamente costituiti dal carbonio, dall'azoto, dall'ossigeno (appartenenti allo stesso periodo della tavola periodica degli elementi) e dall'idrogeno “saturante” i doppietti elettronici dei precedenti.

Una tale costituzione geometrica, prima lineare e poi tridimensionale, può verificarsi solo con atomi che siano in grado di mettere in campo strategie termodinamiche di stabilizzazione energetica interna. Tali strategie – intuitive, codificate e descritte da Linus Pauling come “ibridizzazioni di orbitali” – sono responsabili della formazione di nuovi “riempimenti” interni, tra cui quelli di tipo sp^3 e conseguentemente della neo-disposizione dei doppietti di elettroni propri dell'atomo “ibridizzato”, e

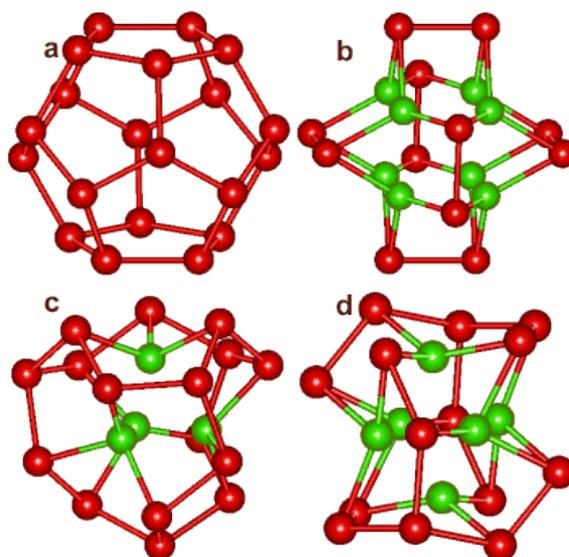


Fig. 2 - In caso di *puckering* strutturale un *cluster* acquoso pentagonododecaedrico (a) può trasformarsi, contraendosi, in modo da presentare una sottostruttura più interna di forma cubica (b), tetraedrica (c) od ottaedrica (d). Il fenomeno è stato particolarmente studiato nel caso della presentazione degli ioni potassio al relativo canale ionico. In figura la rappresentazione di tale ione al centro delle 20 molecole d'acqua è stata omessa per rendere più facilmente osservabile il fenomeno stesso. Dal sito https://www1.lsbu.ac.uk/water/water_cluster_equilibria.html elaborato da Martin Chaplin docente di Applied Science presso la London Southern Bank University.

sono caratterizzate da morfologia tetraedrica delle orientazioni nel loro complesso. Ricordiamo qui, per inciso, che anche il silicio, appartenente allo stesso gruppo atomico del carbonio ed a questo successivo nello schema del progressivo riempimento elettronico per ottetti, in certe condizioni, sempre di maggior favore termodinamico, tende a sviluppare associazioni biatomiche con l'ossigeno che ripetono un andamento pluritetraedrale. Ne sono valide testimonianze l'esistenza del quarzo e della classe dei silicati in genere, possedenti, come già accennato, una “alta valenza induttiva” (sarebbe meglio dire reinduttiva) sui liquidi con eccesso entropico interno.

Dunque, sia nel mondo inorganico (minerale) che in quello organico (biologico), la presenza di una già raggiunta buona stabilità strutturale è garanzia necessaria e sufficiente perché possano costituirsi sistemi solido/liquido di tipo epitassico. È pertanto corretto affermare che, a livello corporeo, tutti i fluidi idroionici presenti risultano strut-

turati (ristrutturati) in modo dipendente dalla locale polimolecolarità tessutale organica con cui sono in contatto e che viene, così, resa, proprio dalla stessa rete idroionica simbiotica, fisiologicamente funzionale (Bhide & Barkowitz, 2005; Klein, 2006; Meister *et al.*, 2014).

Dal peculiare punto di vista della geometria interna, la ricerca sviluppata in questo ambito ha potuto poi mettere in evidenza come l'insieme tridimensionale dei fluidi idroionici sia dato dall'accostarsi reciproco, senza soluzione di continuità, di un gruppo di *clusters* acquosi minori con forme analoghe a quelle dei cinque solidi platonici ed accoglienti, al loro interno, uno o più ioni aventi una pura e semplice funzione di ulteriore stabilizzazione.

Sofisticati sistemi di calcolo applicati a modelli strutturali di questo tipo permettono di affermare che qualora si potesse giungere ad una rete tridimensionale perfetta sulla falsariga di quanto ora detto, ci troveremmo di fronte ad una costituzione idroionica dotata della minor possibile energia interna di mantenimento e dal massimo possibile ordine e stabilità, oltre che della massima possibile simmetria geometrica. Compresa la presenza di assi di simmetria di ordine cinque, o superiore al sei, inesistenti in natura ma osservati ripetutamente nei cristalli liquidi, nelle leghe artificiali multimetalliche ed in rarissimi composti minerali inglobati in antichissime meteoriti, testimonianze relitte dei primi tempi di formazione del sistema solare.

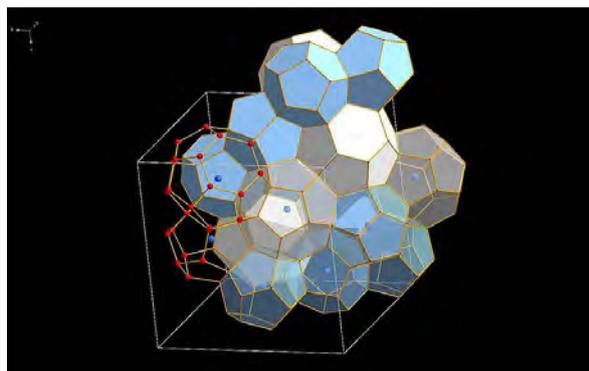


Fig. 3 - Rappresentazione ideale di un clatrato idroionico a struttura complessa dove gli ioni sono circondati da "gusci concentrici" di pentagonododecaedri. La simmetria finale risultante presenta di nuovo, in ogni caso, una ripetibilità di tipo cubico.

Come dire che tali fluidi risulterebbero possedere, pur essendo liquidi, un livello di complessità e completezza di simmetria interna molto più elevato di quello peculiare dei solidi cristallini appartenenti al sistema minerale monometrico naturale, massimo esempio di complessità geometrica rintracciabile entro la crosta terrestre, ossia risulterebbero dotati di una commistione potenzialmente infinita dei vari "habitus" tetraedrico, cubico, ottaedrico, pentagonododecaedrico ed icosaedrico, con quasi impensabili caratteristiche di ripetibilità nello spazio tridimensionale (Figg. 3, 4).

Possiamo avere un'idea, seppur riduttiva, di come apparirebbero, almeno a breve termine, tali composti osservando i clatrati acquosi naturali di gas organici semplici, come il metano, che si formano spontaneamente nei fondali delle fosse oceaniche (Wei *et al.*, 1991; Job *et al.*, 2003) (Figg. 5, 6). Di fatto questi sono effettivamente dei liquidi stabilizzatisi così bene da raggiungere lo "status" di solido dotato di maggiore "negaentropia". Anche nel campo dei composti del silicio possiamo riconoscere analoghi inaspettati passaggi di fase: la melanoflogite ne è un esempio ormai noto e ripetutamente studiato, nonostante la rarità dei suoi rinvenimenti.

Evidentemente questo è impensabile che possa accadere nell'uomo. Ne conseguirebbe la sua immediata scomparsa. Possiamo invece ipotizzare come l'omeostasi fisiologica tenda ad un continuo rinnovo delle locali strutture idroioniche che di

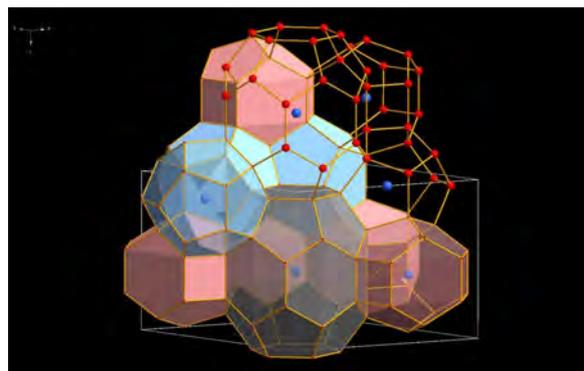


Fig. 4 - Assetto interno di un clatrato idroionico ancora più elaborato. Cambiando le forme dei componenti interconnessi cambia, evidentemente, anche il tipo di ripetibilità a più largo raggio.



Fig. 5 - In futuro i clatrati dei gas naturali semplici (A), come quelli incapsulanti metano, potrebbero essere utilizzati come fonte energetica di facile recupero a basso costo. Essi infatti, se esposti brevemente ad una fiamma diretta (B), liberano il gas che trattengono strutturalmente. A sua volta il gas liberato brucia provvedendo a far proseguire la combustione con lo sciogliere altra acqua racchiudente il componente volatile. Immagine tratta dal sito <https://www.quora.com/can-snow-be-burned/>

continuo si disperdono, in quanto di per sé costitutivamente instabili, ed anche perché continuamente disturbate nel loro essere dalle variazioni dei flussi energetici tessutali che sappiamo potersi, per infiniti motivi, discostare da quelli necessari al teorico mantenimento, al minimo termodinamico, della simmetria idealmente utile alla fisiologia essenziale del momento.

Qualcuno ha asserito che la vita, in fin dei conti, altro non è che una oscillazione continua entro un *range* di varianza che, però, nel corso del tempo diviene progressivamente incapace di

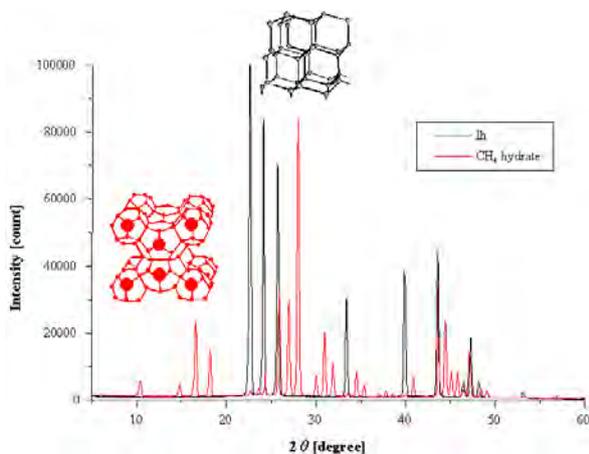


Fig. 6 - Prova strumentale, fornita dalla diffrazione a raggi x, che i clatrati idroionici acquosi possiedono una struttura interna completamente diversa da quella del ghiaccio. L'interazione delle fasi di sistema ha effettivamente determinato una ristrutturazione dell'insieme polifasico. Da una pubblicazione del giapponese National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST); Gas Hydrate research Group, il cui sito di accesso principale è <https://unit.aist.go.jp/rief/en/groups/index.html>.

auto-mantenersi nei limiti stabiliti. E per le argomentazioni che stiamo qui esponendo, questa ci pare una definizione azzeccata. Potremmo anche aggiungere che la tendenza delle strutture vitali, una sorta di nefasta loro aspirazione nascosta, altro non sarebbe che la morte per cristallizzazione, massimo possibile di stabilità, e che ci salviamo da questo traguardo immediato solo grazie alla nostra innata vulnerabilità entropica.

I fluidi idroionici corporei sono quindi dotati della proprietà di potersi rimodellare a piacimento in funzione dell'energia del sistema a cui appartengono, assieme ai solidi organici a struttura di alta tetraedralità, con i quali si trovano all'interfaccia. In simbiosi funzionale vitale. Tutto questo, naturalmente, precisiamo ancora una volta, entro un *range* di ristrutturabilità che, a sua volta, dipende da precise concentrazioni complessive ioniche in essi presenti. Tali concentrazioni sono quelle che ne permettono l'assetto interno "di base" ereditato in senso evolutivo, che è poi quello da cui dipende la possibilità dell'oscillazione omeostatica funzionale fisiologica a cui siamo deputati e sottoposti.

Qualora questi fluidi si trovino in una mutata condizione di interfaccia di riferimento, devono quindi essere in grado di cambiare, in modo del tutto automatico, la struttura interna che li ha caratterizzati fino a quel momento. E qualora la nuova interfaccia solida possa essere dotata di un *input* ristrutturante a maggior valore di "ingun-

zione d'ordine", i medesimi fluidi tenderanno ad assumere una tridimensionalità dei *clusters* interni di minor carico energetico e di maggiore simmetria e stabilità rispetto a quella prima posseduta, dando per scontata una indispensabile nuova presenza ionica affinché questo possa accadere.

A favore di questa possibilità di rimodellamento va qui ricordato il possibile aiuto indotto dalla liberazione di energia costitutiva in eccesso, quella responsabile di un più alto livello di disordine, liberazione conducente ad una facilitazione di abbandono di vecchi e più dispendiosi legami rendendo la struttura pronta ad nuovo e più favorevole assetto. Si deve parlare dell'istaurarsi di una maggiore nega-entropia di sistema grazie ad un momentaneo sostegno entropico.

Dobbiamo poi prendere in considerazione che grandi variazioni del grado d'ordine, fino ad un possibile collasso strutturale, sono da aspettarsi anche in caso di cambiamento in eccesso delle concentrazioni ioniche (pur in presenza dello stesso solido all'interfaccia). Infatti il grado di competizione ionica per occupare le disponibili posizioni interne dei *clusters* acquosi aumenta all'innalzarsi delle relative singole concentrazioni. E tale "lotta ionica" possiede un elevato grado destrutturante con grande potenzialità di annullamento dei messaggi di ingiunzione d'ordine inviati dalla fase solida.

Come dire che il "gioco" della vita corporea dipendente dai fluidi idroionici è ammesso solo entro determinati limiti di fluttuazione strutturale, a loro volta tollerati solo nell'intorno del valore di concentrazione salina totale di circa il 3,5 per mille, un valore "complessivo" dalle caratteristiche costitutive quali-quantitative proporzionalmente equivalenti a quelle della attuale acqua marina diluita uno a dieci, ossia fino a portarla al valore detto di corrispondenza isotonica ed isosmotica con le condizioni probabilmente presenti negli oceani al momento di insorgenza delle prime forme monocellulari di vita animale.

Pensando ad una metodologia applicata di relativo semplice impiego in grado di validare larga parte di quanto qui prospettato abbiamo messo

a punto un modello sperimentale articolato come segue:

- *Esame del grado di strutturazione di un liquido di riferimento (acqua bidistillata) (Campione A, trattato secondo la metodica scelta).*
- *Esame di un'acqua ad elevata concentrazione salina (acqua marina tal quale) (Campione B).*
- *Esame di acqua marina diluita all'isotonia, ma non posta all'interfaccia di un solido a forte capacità di induzione d'ordine (Campione C).*
- *Esame di acqua marina resa isotonica posta per cinque giorni a contatto con un polimero ad elevato grado di induzione d'ordine. Facciamo osservare che con il polimetilmetacrilato (PMMA) sono stati costruiti, e tuttora continuano ad esserlo, oggetti da usare per impianti corporei permanenti ad elevato grado di compatibilità e quindi di accettabilità. Si è dimostrato inoltre che questo materiale previene la formazione di trombi, che sappiamo essere favoriti dalla destrutturazione del normale assetto dei fluidi idroionici a contatto tessutale (Minelli *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010; Ware *et al.*, 2014; Bag & Valenzuela, 2017) (Campione D).*
- *Esame di acqua marina isotonica rimasta per cinque giorni a contatto con una quarzite naturale dinamometamorfosata e dunque possedente una struttura dei tetraedri di ossido di silicio altamente ordinata, iso-orientata e con elevato livello di induzione d'ordine nei confronti dei legami a ponte di idrogeno delle molecole d'acqua con cui viene posta a contatto (Ma *et al.*, 2005; Ho *et al.*, 2011; Skelton *et al.*, 2011; Cimas *et al.*, 2014). Va comunque rimarcato che praticamente tutti i silicati, ossia tutti i minerali costituiti da concatenazioni di tetraedri silicio-ossigeno, potrebbero essere usati allo stesso scopo (Fenter *et al.*, 2001, 2004; Yang *et al.*, 2005; Sakuma & Kawamura, 2009; Yan *et al.*, 2014) (Campione E).*
- *Esame di un'acqua marina isotonica posta contemporaneamente a contatto sia con PMMA sia con quarzite dinamometamorfosata. Questo per evidenziare l'eventuale insorgenza di sinergie tra le diverse fasi solide utilizzate (Campione F).*

Questi esami sono stati condotti presso la Stellar srl, via Enrto Fermi, 4 - Mede (PV), per mezzo della tecnica della FFC NMR relaxometry (*Fast Field Cycling NMR*), che permette di valutare l'inverso ($1/T$) del cosiddetto tempo di rilassamento dei campioni sottoposti ad indagine. La specifica apparecchiatura usata era uno SPINMASTER 1T relaxometer, di costruzione della stessa Stellar srl. Uno strumento di questo tipo fornisce i tempi di "recupero" delle iniziali condizioni strutturali interne dei campioni in indagine dopo che siano state "stravolte" da crescenti perturbazioni indotte da diversi valori di campo magnetico applicato.

Per convenzione internazionale i tempi di recupero (o di rilassamento) sono espressi in $1/T$, dunque i campioni più stabili (nel nostro caso quelli maggiormente ordinati perché provvisti di legami a ponte di idrogeno più forti) inseriti in grafico risulteranno a più alto valore di ordinata (l'inverso di un tempo di rilassamento minore). Come dire: i campioni meno disturbabili impiegano minor tempo a tornare al loro stato iniziale. I dati ottenuti sono stati riuniti nel grafico di figura 7.

Veniamo dunque al commento e all'interpretazione dei risultati.

Dall'esame del grafico due cose saltano subito all'occhio: la prima è che i dati provenienti dalle

sei soluzioni analizzate si sono distribuiti in due gruppi omogenei a differente altezza di ordinata; la seconda è che le soluzioni D, E ed F posseggono un tempo di rilassamento inferiore di circa il cinquanta per cento rispetto alle soluzioni A, B e C. Pertanto il contatto con quarzite dinamometamorfica o con PMMA è certamente stato in grado di indurre un riordino maggiore rispetto a quello presente in precedenza, e ciò in modo statisticamente significativo dati i valori ottenuti, e tramite il fenomeno della induzione d'ordine all'interfaccia poi propagatosi a tutto il volume della fase liquida. La differenza tra i due gruppi riportati in grafico è, infine, nettamente superiore a quella che ci si può aspettare da un eventuale errore di metodo.

Il fatto che l'acqua bidistillata (totale assenza ionica), l'acqua marina tal quale e l'acqua marina isotonica non ancora posta all'interfaccia di una fase solida reinducente, presentino tutte e tre la stessa risposta all'esposizione ai campi magnetici crescenti, può essere interpretato pensando che la prima è in effetti costituita solo da *cluster* acquosi eterogenei non minimamente stabilizzati, ossia da una struttura già di per sé fortemente disordinata e quindi molto facilmente disorganizzabile da aggiuntive perturbazioni energetiche esterne. Nel secondo caso siamo in presenza di un forte ec-

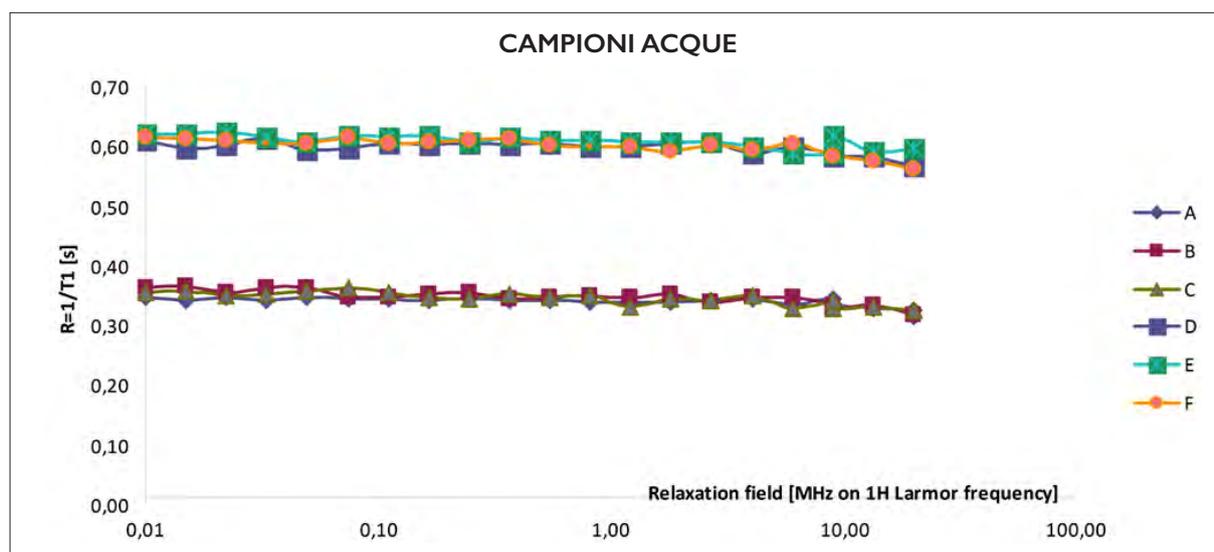


Fig. 7 - Grafico finale dei risultati ottenuti per mezzo del modello sperimentale messo a punto dallo scrivente. In ordinata, la scala dei valori del tempo di rilassamento ($1/T$) espresso in secondi. In ascissa, i valori di intensità dei campi magnetici applicati.

cesso salino e la elevata competizione ionica non permette alcuna stabilizzazione interna dell'acqua in questione. Nel terzo caso, pur avendo operato una diluizione di tipo isotonica, ossia una forte riduzione della concentrazione salina del sistema, non si è poi verificata spontaneamente una adeguata riorganizzazione idroionica nel senso di una tendenza al raggiungimento di una "più stabile, almeno statisticamente" clusterizzazione interna.

Al contrario, nel caso di tutti e tre i campioni isotonici esposti all'interfaccia di una fase solida fortemente inducente un più elevato livello d'ordine, ognuno di essi ha dimostrato di possedere una buona conformazione interna, organizzata in *clusters* idroionici delimitati da legami a ponte di idrogeno non molto labili, o facilmente ricostituibili in tempi brevissimi, con buona probabilità di una vocazione alla covalenza, ed in grado di dare vita ad interazioni di sgravio energetico con ioni allocati nella loro rete costitutiva, interazioni che portano ad un ulteriore aumento del livello di strutturazione.

Soluzioni di quest'ultima tipologia, ossia con valori di isotonicità ed isosmoticità paragonabili a quelli propri dei fluidi corporei e con assetto

strutturale funzionalmente equivalente a quelli normalmente agenti ad ogni livello della fisiologia corporea, potrebbero giustamente essere definite, con un neologismo, come soluzioni "omeotropiche", ossia "ad affinità di forma" del substrato con cui risultano in interazione costante. Naturalmente tale affinità va intesa nel senso di una loro compatibilità reciproca data una analoga derivazione da fenomeni di ibridizzazione degli orbitali degli atomi costituenti: carbonio, azoto ed ossigeno, orbitali di tipo sp^3 saturati con atomi di idrogeno o parzialmente autosaturati. Vedi anche il caso dell'interfaccia con PMMA. Oppure, tale compatibilità può essere intesa, nel caso entrino in gioco strutture a tetraedri di silicio/ossigeno, anche come evoluzione strutturale comunque inducibile da una interfaccia solida la cui costituzione tetraedrale è di per sé garante, termodinamicamente parlando, di una espansione esterna del "grado d'ordine" da essa stessa posseduto.

Come non pensare, a questo punto, all'incontro di qualche miliardo di anni fa tra le acque idroioniche dell'oceano primordiale, con traccia organica "di base" al suo interno, e le sue coste rocciose delimitanti? (Hazen & Sverjensky, 2010).

Testi citati

Bag M.A. & Valenzuela L.M. (2017) - *Impact of the Hydration States of Polymers on Their Hemo compatibility for Medical Applications: A Review*. International Journal of Molecular Sciences, 18(8): 1422.

Bhide S.Y. & Barkowitz M.L. (2005) - *Structure and dynamics of water at the interface with phospholipid bilayers*. The Journal of Chemical Physics, 123: 1-16.

Cimas A., Tielens F., Sulpizi M., Gaigeot M.-P. & Costa D. (2014) - *The amorphous silica-liquid water interface studied by ab initio molecular Dynamics (AIMD): local organization in global disorder*. J. Phys. Condens. Matter, 26: 244106-1/10.

Dewan S., Yeganeh M.S. & Bouguet E. (2013) - *Experimental correlation between interfacial water structure and mineral reactivity*. The Journal of Physical Chemistry Letters. Section: Surfaces, Interfaces, Porous Materials and Catalysis, 1977-1982.

Dhopatkar N., Defante A.P. & Dhinojwala A. (2016) - *Ice-like water supports hydration forces and eases sliding friction*. American Association for the Advance-

ment of Science, Research Article, Physical Sciences, 2, e1600763, 1-9.

Elbourne A., Voitchovsky K., Warr G.G. & Atkin R. (2015) - *Ion structure controls ionic liquid near-surface and interfacial nanostructure*. Chemistry Science, 6: 527-536.

Fenter P., Cheng L., Park C., Zang Z. & Sturchio N.C. (2004) - *Studying the structure of the orthoclase (001)-water interface by high-resolution x-ray reflectivity*. Review of Environmental Research Division of Argonne National Laboratory, Department of Materials science and Engineering of Northwestern University and Department of Earth and Environmental sciences of Illinois University, 1-3.

Fenter P., Teng H., Geissbuhler P., Hanchar J.M., Nagy K.L. & Sturchio N.C. (2001) - *Atomic-scale structure of orthoclase (001)-water interface measured with high-resolution x-ray reflecting*. Review of Departments of Geological Sciences and Physics of George Washington University and Environmental Research Division of Argonne National Laboratory, 1-2.

- Hazen R.M. & Sverjensky D.A. (2010) - *Mineral surfaces, geochemical complexities and the origins of life*. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology Press, David Deamer and Jack Szostak Editors, 1-21.
- Ho T.A., Argyris D., Papavassiliou D.V., Seriola A., Lee L.L. & Cole D.R. (2011) - *Interfacial water on crystalline silica: a comparative molecular dynamic simulation study*. *Molecular Simulation*, 37 (3): 172-195.
- Hou B., Kim S., Kim T., Kim J., Hong S., Bum Bahn C., Park C. & Kim J.H. (2016) - *The hydration structure at yttria-stabilized cubic zirconia (110)-water interface with sub-angstrom resolution*. *Scientific Reports-wwww.nature.com*, 1-8.
- Job G., Konrad O., Reulecke I. & Lankau T. (2003) - *A novel approach to the salvation of methane in water*. Resoconti. Institut für Physikalische Chemie, Universität Hamburg.
- Klein R.A. (2006) - *Cooperativity in large water clusters liquid water, ice and clathrates*. NIC Symposium 2006, G. Munster, D. Wolf, M. Kremers Editors, 32: 65-74.
- Lee W.-J., Chang J.-G. & Ju S.-P. (2010) - *Struttura di legame all'idrogeno alle interfacce tra acqua e PMMA, acqua e poli-acido-metacrilico e acqua e poli-2-amminoeetil-metacril-ammide*. *Langmuir*, American Chemical Society, 26 (15): 12640-12647.
- Ma Y., Foster A.S. & Nieminen R.M. (2005) - *Reactions and clustering of water with silica surface*. *The Journal of Chemical Physics*, 122: 144709-1/14709-8.
- Maccarini M. (2007) - *Water at solid surfaces: A review of selected theoretical aspects and experiments on the subject*. American Vacuum Society. *Biointerphases*, 2(3): 1-16.
- Meister K., Strazdaite S., DeVries A.L., Lotze S., Olijve L.L., Voets I.K. & Bakker H.J. (2014) - *Observation of ice-like water layers at an aqueous protein surface*. *PNAS*, 111(50): 17732-17736.
- Minelli C., Kikuta A., Tsud N., Ball M.D. & Yamamoto A. (2008) - *A micro-fluidic study of whole blood behaviour on PMMA topographical nanostructures*. *Journal of Nanobiotechnology*, 6(3): 1-11.
- Sakuma H. & Kawamura K. (2009) - *Structure and dynamics of water on muscovite mica surfaces*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73: 4100-4110.
- Siretanu I., Ebeling D., Andersson M.P. *et alii* (2014) - *Direct observation of ionic structure at solid-liquid interfaces: a deep look into the Stern layer*. *Scientific reports*, 4:4956, DOI: 10.1038/srep04956, 1-7.
- Skelton A.A., Wesolowski D.J. & Cummings P.T. (2011) - *Investigating the quartz (1010)/water interface using classical and ab initio molecular dynamics*. *Langmuir*, American Chemical Society, 27: 8700-8709.
- Ware J.A., Kang J., De Cenzo M.T., Smith M., Watkins S.C., Slayter H.S. & Saitoh M. (2014) - *Platelet activation by synthetic hydrophobic polymer, PMMA*. *Bloodjournal*, 78 (7): 1713-1721.
- Wei S., Shi Z. & Castleman A.W. Jr. (1991) - *Mixed cluster ions as a structure probe: Experimental evidence for clathrate structure of (H₂O)₂₀⁺ and (H₂O)₂₁⁺*. *American Institute of Physics. J. C. Phys.*, 94 (4): 3268-3270.
- Yan H., Park C., Ahn G., Hong S., Keane D.T., Kenney-Benson C., Chow P., Xiao Y. & Shen G. (2014) - *Termination and Hydration of forsterite olivine (010) surface*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 145: 268-280.
- Yang J., Meng S., Xu L. & Wang E.G. (2005) - *Water adsorption on Hydroxylated silica surfaces studied using the density functional theory*. *Physical review of The American Physical Society*, B 71: 35413-1/12.
- Yang Z., Li Q. & Chou K.C. (2009) - *Structures of water molecules at the interfaces of aqueous salt solutions and silica: cation effects*. *Journal of Physical Chemistry*, 113: 8201-8205.

Le biancane delle Crete Senesi e della Val d'Orcia: erosione, copertura vegetale e impatto antropico

Simona Maccherini¹, Michela Marignani², Elisa Santi¹, Dino Torri³

¹ Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Siena, Via P.A. Mattioli 4, 53100 Siena.
simona.maccherini@unisi.it

² Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università di Cagliari, Viale S. Ignazio 13, 09123 Cagliari, Italy

³ CNR-IRPI, Via Madonna Alta, 06123 Perugia.

Introduzione

Sono comunemente indicati come biancane quei rilievi a cupola, di altezza usualmente non superiore a 10 m e di colore chiaro, spesso accentuato dalla presenza superficiale di sali (in particolare sol-



Fig. 1 - La Provincia di Siena con l'ubicazione di due Siti della Rete Natura 2000: le Crete di Camposodo e di Leonina e quelle di Lucciola Bella (in nero).

fato di sodio), originatisi nei depositi argillosi pliocenici marini delle Crete Senesi e della Val d'Orcia, in Provincia di Siena (Figg. 1-2). Ovviamente, a causa del loro alto tasso di erosione e della loro elevata salinità, esse rappresentano un ambiente ostile alla vita delle piante.

In passato le biancane, sia in forma isolata che in raggruppamenti di diversa estensione, occupavano gran parte dei suddetti territori oltre che della parte occidentale del Volterrano, mentre attualmente sono ridotte a piccoli residui dispersi. L'area dove le biancane sono maggiormente rappresentate raggiunge i 180 ettari ed è ubicata nella Riserva naturale Lucciola Bella (Fig. 3), nel Comune di Pienza.

Come Zone Speciali di Conservazione e/o Siti di Importanza Comunitaria, i calanchi e le biancane del Senese fanno spesso parte della rete di Natura 2000, la quale è stata istituita in sintonia



Fig. 2 - Biancane, di forma tra il conico e il prismatico/piramidale, racchiuse tra campi coltivati nei pressi del Torrente Formone in Val d'Orcia (Siena). Al loro interno è osservabile una zona dove prevale l'accumulo (*pediment*). L'unica forma di erosione, sporadicamente attiva, è costituita da piccoli movimenti dei materiali argilloso-limosi (costituenti i depositi marini originari) per l'aggiustarsi dei versanti al profilo di equilibrio.

Fig. 3 - Biancane dell'area di Lucciola Bella dove la vegetazione arbustiva sta prendendo il sopravvento su quella erbacea; questo passo spesso precede l'ingresso di specie arboree. Già nel 1700 le biancane "ricoprivano completamente la sommità e le pendici del colle dove il podere dallo stesso nome era situato" (Razzi, 1763).



con la Direttiva Habitat n. 92/43/CEE del 1992 (e modifiche successive) riguardante la conservazione degli *habitat* naturali e seminaturali nonché della flora spontanea e della fauna selvatica. I siti inclusi nella rete sono: "Crete di Camposodo e Crete di Leonina" (IT5190004), "Monte Oliveto Maggiore e Crete di Asciano" (IT5190005), "Lucciola Bella" (IT5190010) e "Crete dell'Orcia e del Formone" (IT5190011). Questi siti ospitano 16 habitat protetti, due dei quali prioritari per la Direttiva Habitat e così definiti: 6210* - Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*) (* con stupenda fioritura di orchidee); 6220 - Percorsi substeppeici di graminacee e piante annue dei *Thero-Brachypodietea* (Marignani *et al.*, 2007). Tra le specie protette ci sono 8 orchidee spontanee e le endemiche *Artemisia cretacea* (Branconi *et al.*, 1979) e *Santolina etrusca* (Scoppola *et al.*, 1997). Tali ambienti sono stati ampiamente studiati attraverso diverse discipline (Gallart *et al.*, 2013).

Il primo ad occuparsi specificamente della flora e della vegetazione presente nei terreni argillosi pliocenici del senese è stato Arturo Nannizzi nel lontano 1956 (Nannizzi 1956). In quel tempo il problema da risolvere era quello della fertilizzazione dei terreni, in verità già affrontata scientificamente nel 1770 dai dottori Pistoia e Nicoletti su incarico dell'Accademia dei Fisiocritici di Siena. L'intento di Nannizzi era quello di esaminare la flora spontanea per trarne spunto sulle specie adatte ad essere coltivate nel territorio. Scrive lo studioso: "...è una vegetazione spontanea generalmente minuta,

quasi lillipuziana, di un verde più o meno cinerino ... è là che la vegetazione, come si è detto, appare in una fase di equilibrio instabile nell'incessante giuoco delle competizioni che si svolgono tra gli individui per la conquista dello spazio e del nutrimento".

Negli ultimi decenni è apparso chiaro che gli ambienti che caratterizzano le biancane sono a rischio scomparsa (Salvini *et al.*, 2007; Marignani *et al.*, 2007, 2008; Maccherini *et al.*, 2011; Torri *et al.*, 2013). Le stime ottenute per l'intero territorio dei comuni di Asciano e San Giovanni d'Asso da Salvini *et al.* (2007) e quelle ottenute per le aree di Leonina e Lucciola Bella da Torri *et al.* (2013), suggeriscono che tra 20-30 anni le biancane saranno completamente ricoperte di vegetazione (Fig. 4) per cui le facce di erosione e le piccole zone di rideposizione interna non saranno più visibili. In altre parole, le biancane appariranno semplicemente come una serie di microcollinette verdi, mal distinguibili da un qualsiasi luogo rinaturalizzato. Ciò avverrà a danno della biodiversità che gli ambienti ospitano, proprio perché questa è imprescindibilmente legata all'erosione che genera differenti tipi di associazioni, dalle formazioni pioniere di ambienti erosi e salini a quelle più evolute relative a suoli non erosi e più profondi (Chiarucci *et al.*, 1995). La domanda da farsi è quindi la seguente: le biancane meritano di essere conservate con le loro caratteristiche oppure tutto ciò può essere tranquillamente perso inclusa la memoria delle stesse? Questo breve articolo vuole riassumere i motivi pro e contro una risposta affermativa apparsa nella letteratura scientifica da 30 anni a questa parte.



Fig. 4 - Biancana ricoperta da vegetazione.

Perdita di *habitat* e successione vegetale

Negli ultimi cinquant'anni le pratiche agricole hanno notevolmente modificato il paesaggio a biancane delle Crete Senesi e della Val d'Orcia, uniformandolo progressivamente in termini di diversità di *habitat*. Torri *et al.* (2013) hanno fornito dati qualitativi e quantitativi sulle trasformazioni subite nel corso del tempo dalle coperture vegetali dei siti di Lucciola Bella e di Leonina; in particolare gli autori si sono rivolti alle categorie “superfici prive o quasi di vegetazione e praterie rade”, che corrispondono alle situazioni pioniere peculiari di questi ambienti perché legate a condizioni estreme (salinità elevata ed erosione/sedimentazione del suolo). Se nel 1954 tali categorie occupavano il 23% di questi territori (82 ha), nel 2005 risultavano ridotte al 7% (25 ha).

Nel 2005, ciò che nel 1954 era superficie nuda o prateria rada si era trasformato in prateria densa (24%), arbusteto (8%), bosco (11%) e coltivo (6%). Solamente 7 ha avevano subito la conversione inversa e cioè erano passati da tipi di vegetazione meno pionieri (prateria densa) a quelli più pionieri, a riprova del fatto che i processi di erosione si stavano arrestando. Questo testimonia la forte tendenza verso un ritorno alla successione naturale, la quale si innesca in assenza o in diminuzione

di fattori di disturbo quali, ad esempio, il pascolo (in passato largamente praticato di fatto impediva alla vegetazione di cambiare in formazioni come arbusteti e poi boschi).

Il processo di colonizzazione vegetale del suolo delle aree a superficie nuda o a prateria rada, avviene per lo più a carico di specie generaliste e ruderali come *Avena fatua* (l'avena selvatica) e *Dactylis glomerata* (la dattile o erba mazzolina) ma anche di *Brachypodium rupestre* (il brachipodio o paléo rupestre). In condizioni di sufficiente umidità, queste graminacee sono in grado di colonizzare siti perfino con inclinazioni superiori a 70°. Nel periodo 1954-2005, il tasso di rivegetazione nelle aree protette di Lucciola Bella e Leonina è stato stimato in 0.92 ha/anno: entro il 2040-2050, se non si interviene con processi di restauro ecologico, le superfici nude delle biancane spariranno e con esse la più significativa peculiarità di questo paesaggio (Torri *et al.*, 2013).

Per quanto concerne la caratterizzazione della vegetazione, Salvini *et al.* (2007) hanno usato un approccio di minor dettaglio rispetto a Torri *et al.* (2013); inoltre il loro studio, esteso a tutta la zona delle Crete, non ha riguardato solo le aree con biancane ma anche quelle con calanchi, i quali sono colonizzati con difficoltà dalle piante per motivi legati alla loro morfologia. Da rilevare ancora che i dati raccolti da questi autori sono relativi sia ad aree successivamente divenute protette, sia ad aree non protette nelle quali è avvenuta perfino la rimozione delle biancane e dei calanchi di minori dimensioni mediante rusatura (quest'ultima è da legarsi alla concessione di sussidi, per la rimessa a coltura di aree incolte, voluta dalle politiche agricole comunitarie).

Il risultato finale di questi processi convergenti (rusatura per rimessa a coltura delle biancane, loro rivegetazione sia per i cambiamenti nella gestione di quello che una volta era il pascolo, sia per il divieto di utilizzarle ai fini agricoli e per allevamento) si riassume nella rapida scomparsa del paesaggio a biancane, che invece ha caratterizzato le Crete per almeno 600 -700 anni (Barlucchi, 1997; Torri *et al.*, 2018 a).

Fig. 5 - *Pediment* in fase di erosione per l'aggressività meteorica, con rigagnolo principale al centro e piedistalli protetti da frammenti di mattoni o pietre.



Geomorfologia e vegetazione delle biancane

Da un punto di vista geomorfologico le biancane offrono un paesaggio che, quando può esprimersi pienamente, è veramente suggestivo. Nelle aree considerate esse sono caratterizzate in genere da una cupoletta erosa, da un versante esposto a nord con vegetazione (la colonizzazione è più rapida laddove l'umidità è maggiore e permane più a lungo; Torri, 1996) e da uno esposto a sud privo di copertura vegetale e più soggetto ad erosione. Tra biancane contigue la vegetazione appare disposta a macchie di leopardo perché legata ancora a fattori che favoriscono una maggior umidità del suolo nel tempo come, ad esempio, l'esposizione a nord, le zone di impluvio, quelle riparate dal sole e dal vento, la presenza di piccoli corpi di frana. Nella parte bassa delle biancane è osservabile il *pediment*, parzialmente inerbito, dove usualmente prevale la deposizione (Fig. 2) ma che può venire a sua volta eroso da rigagnoli (*rill*) formati per motivi meteorici. Il *pediment* di figura 5, inciso da un rigagnolo centrale, presenta pietre, residui di vegetazione e colonie di cianobatteri che sovrastano piedistalli alti fino ad alcuni centimetri.

Le sommità delle biancane corrispondono in prevalenza ad una linea di displuvio, a volte orizzontale, oppure ad un vertice smussato e stonato di un cono. L'arretramento dei versanti laterali si

verifica almeno fino alla completa rimozione del suolo sovrastante i depositi marini. L'erosione sulle pareti e sui versanti di biancane contigue è mantenuta attiva fino a quando l'azione dell'acqua incanalata nei fossi (*gully*) (Fig. 6) cessa per effetto della rivegetazione. Talvolta quest'ultima è in grado di riportare piante perfino sui vertici delle biancane. In alcuni casi, rari in verità, le biancane si presentano con forma tronco-conica e superficie superiore dotata ancora di suolo e vegetazione (Fig. 7). Il suolo viene così a rappresentare un testimone della situazione precedente la generazione delle biancane, come riscontrato da Calzolari & Ungaro (1998) e Calzolari *et al.* (1993) per la località La Foce, in Val d'Orcia.

Sulle superfici nude delle biancane è possibile osservare la presenza di *joint* (Colica & Guasparri, 1990). Queste fessure o fratture quasi rettilinee interessano soprattutto superfici relativamente poco pendenti; la loro rettilineità (e il parallelismo o antiparallelismo dei fasci di *joint* rispetto all'andamento dell'Appennino) tende comunque a confondersi laddove la pendenza è molto alta. La profondità valutata dei *joint* è di circa una decina di metri. Con il denudamento del suolo essi si aprono e si approfondiscono in maniera abbastanza uniforme; la maggior esposizione all'aria e all'acqua, che favorisce l'ossidazione del ferro, fa sì che risultino evidenziati da strisce giallo-rossastre (Fig. 8).

La presenza di *joint* e di "crepe" (legate ad es-



Fig. 6 - Biancane, in località Leonina, separate da un fosso che si dirama verso l'alto in due canali, tutti inerbiti e con cespugli.



Fig. 7 - Biancana dell'area di Leonina. La superficie sommitale, che è leggermente inclinata (da cui la forma tronco-conica della biancana), si presenta con graminacee e alcuni perastri. Essa è riconducibile a prima dell'inizio del processo di generazione della biancana e, soprattutto, del momento in cui i due fossi formatisi lateralmente l'hanno isolata dal versante a monte. Oltre che da un'erosione superficiale il versante è interessato da un'erosione sottosuperficiale (evidente nei "punti neri" della foto) che raggiunge i 20 cm di profondità.

siccamento della parte superficiale del deposito) facilita l'ingresso di acqua di ruscellamento nel terreno dove, grazie alla dispersione delle particelle minerali di suolo dovuta alla presenza di alte concentrazioni di sodio, si genera un reticolo di micro tunnel solitamente localizzato nei primi 10-20 cm (Fig. 7). Spesso i rigagnoli si alternano con l'erosione tunnel superficiale (*micropiping*; Torri & Bryan, 1987), dando origine a quel ruscellamento chiamato ipodermico da Vittorini (1977). D'altra parte, Torri *et al.* (2012) hanno dimostrato una notevole similarità tra il *micropiping* e l'erosione incanalata dei rigagnoli. Accanto all'erosione tunnel superficiale appaiono, spesso tra biancane contigue, forme di erosione tunnel di dimensioni

medio grosse (fino a 1.80 m di profondità). Nell'area di Lucciola Bella ne sono state documentate alcune che raggiungono 1.20 m di profondità (Fig. 9).

Effetti della frammentazione del paesaggio

Le praterie pioniere con *Artemisia cretacea* (l'assenzio dei calanchi) e le praterie a *Bromus erectus* (forasacco eretto) (Fig. 10), entrambe *habitat* protetti, sono influenzate in maniera differente dalla contrazione e dalla frammentazione della superficie, cioè da due tra le maggiori cause di perdita di biodiversità del pianeta (Butaye *et al.*,



Fig. 8 - I segmenti, lievemente giallastri o arrossati per l'ossidazione del ferro, cadono in corrispondenza di joint dovuti a movimenti distensivi appenninici e antiappenninici.

2005; Lindgren & Cousins, 2017).

Maccherini *et al.* (2011) hanno individuato e quantificato a scale spaziali differenti (1m², poche decine di m² e decine di ettari - cioè l'intera zona interessata da biancane -) i due fattori ambientali maggiormente implicati nella composizione delle comunità vegetali (presenza e abbondanza di specie) che si sono insediate nelle biancane delle Crete Senesi: la conducibilità elettrica della soluzione circolante nel suolo e la superficie occupata da biancane contigue. È stato osservato che, in zone a medio bassa conducibilità elettrica, le praterie a *Bromus erectus* si rinvergono solo quando si considerano superfici superiori ai 12 ettari, mentre quelle pioniere ad *Artemisia cretacea* permangono anche in corrispondenza di piccole superfici interessate da erosione e salinità elevate. Questo risultato induce a ritenere importante la protezione anche di piccoli lembi di biancane, in quanto ospitano almeno una comunità indicata come pri-

oritaria dalla Direttiva 92/43/CEE "Habitat".

L'effetto più evidente della colonizzazione delle superfici nude da parte delle piante è il forte aumento della connessione porale nel suolo; tale aumento facilita la penetrazione e la diffusione di acqua nella matrice del sedimento marino sottostante favorendo i processi di rimozione del sodio (Calzolari, 1993; Calzolari *et al.*, 1996; Bierbaß *et al.*, 2014; Torri *et al.*, 2018 a). La presenza di radici, indipendentemente dalla parte epigea della vegetazione, rende inoltre il suolo più resistente all'erosione tramite la formazione di aggregati stabili all'acqua e la maggiore porosità (Torri *et al.* 2002, 2018 a; De Baets *et al.*, 2008). Tutto ciò riduce fortemente o elimina l'erosione anche quando sono in gioco forze intense espresse dal ruscellamento superficiale concentrato. Di conseguenza, in assenza di elementi di disturbo (pascolo, attività agricole, calpestio) il sistema si stabilizza e la comunità vegetale si sviluppa verso tipologie più



Fig. 9 - Erosione tunnel tra le biancane di Lucciola Bella. Il metro segna una profondità di 120 cm.



Fig. 10 - Biancana su cui sono osservabili praterie dense a *Bromus erectus*, praterie rade con graminacee annuali ed *Artemisia cretacea*, superfici prive o quasi di vegetazione.

complesse e sempre meno pioniere, con la progressiva scomparsa dell'artemisia e di altre specie protette. Il passaggio da una copertura erbacea ad una arbustiva (Fig. 3), con radici di dimensioni centimetriche, causa inoltre la disarticolazione del deposito marino nei corpi delle biancane, dando origine ad erosione tunnel ed a piccoli movimenti di massa. In altre parole, la vegetazione arbustiva o arborea può snaturare completamente le biancane (fino a farle scomparire con i loro ambienti) non solo ricoprendole, ma anche modificandone la forma attraverso la distruzione parziale della loro struttura e sostituendone la porzione superficiale con suoli poco sviluppati nei primi 10-40 anni e più profondi ed evoluti in divenire.

Come vegetazione ed erosione si combinano con un uso del suolo

Torri *et al.* (2018 a, b) hanno raccolto documenti storici, fotografici ed interviste ad anziani delle zone con biancane. A seguito del loro esame hanno concluso che tali zone erano dedicate al pascolo brado delle pecore delle Crete e Amiatine (una razza molto frugale; Giorgetti, 2010), il quale avveniva anche in condizioni assolutamente proibitive come sul terreno bagnato. Per controllare gli arbusti e favorire le erbacee

più utili al pascolo, periodicamente veniva usato il fuoco. Tutto ciò aveva due risultati principali: 1) la concentrazione delle acque di ruscellamento superficiale ed ipodermico lungo i percorsi delle pecore e, quindi, la formazione di fossi profondi ed il mantenimento di versanti molto ripidi delle singole biancane con i conseguenti smottamenti di assestamento; 2) il contenimento generale della vegetazione a valori spesso molto bassi, con scarsa capacità di recupero (sotto circa il 30% di copertura vegetale, in ambienti semiaridi o con periodi stagionali molto secchi, le piante, in condizioni di pascolo intenso, non riescono ad espandersi ma lentamente si ritraggono fino a lasciare il campo sgombro all'erosione; Thornes, 1985)

Come un'erosione intensa può trasformarsi in biancane (e anche in calanchi). Cosa serve perché questo accada?

I processi responsabili dello sviluppo di fossi profondi e di fossi che spesso si intersecano fra loro, richiedono una velocità di erosione elevata ed una permanenza nel tempo dello stato di non intervento da parte degli eventuali agricoltori. Non solo, i fossi che si intersecano imitano in piccolo la cattura di valli, cosa questa che avviene

di solito in ambiente montano, seguendo faglie ed altre linee di debolezza nelle rocce. Tale modalità, però, può applicarsi alle biancane solo in qualche caso poiché elementi di maggiore debolezza sono da considerarsi i percorsi tracciati dagli animali, i quali non seguono necessariamente faglie, *joint* o direzioni indicate dalla forza di gravità. Se questi percorsi, come spiegato da Torri *et al.* (2018 b), si presentano molto più erodibili delle aree non calpestate allora l'erosione può fare presto a scolpire "isole" circondate da fossi che progressivamente si allargano a danno delle medesime. Ciascuna "isola", fin quando è protetta da un suolo che è meno erodibile del substrato (Torri *et al.*, 2002), mantiene una pendenza elevata; quest'ultima inizia ad abbassarsi quando anche l'ultimo lembo di suolo è rimosso (per i suoli su biancane si veda in Calzolari *et al.*, 1993).

Torri *et al.* (2018 a) pongono il tasso di erosione delle biancane a 2 cm/anno ; il tasso sale a 4-6 cm/a quando l'erosione diviene incanalata (Torri *et al.* 2018 b; Della Seta *et al.*, 2009). Perché una situazione divenga insostenibile occorre che i fossi raggiungano dimensioni tali da non poter essere rimossi con le tecniche disponibili. Ciò significa che occorre cercare nella storia delle Crete e della Val d'Orcia un periodo climatico/meteorologico estremamente aggressivo o un periodo in cui la cura dei campi sia stata molto trascurata per almeno un trentennio. Ovviamente, a questo periodo deve seguirne un altro molto lungo (anche plurisecolare) di attività agropastorali continuative.

La ricerca di uno spazio nella storia

Una quasi infinita quantità di ricerche, condotte dal 1800 in poi e basate su tecniche di conservazione che affondano le loro radici in conoscenze accumulate in più di tre millenni, ci raccontano come il suolo sottoposto ad agricoltura tenda a perdere elementi di base per la vita vegetale, diventando meno fertile e più erodibile. In genere l'agricoltura, che necessita di concimazione, è affiancata nel suo sviluppo dall'allevamento che

produce letame; l'interazione di queste attività, insieme ad opportune rotazioni, può rallentare o anche invertire le tendenze alla degradazione del suolo. Di seguito faremo un breve riassunto di quanto proposto da Torri *et al.* (2018 a) in uno studio basato su dati raccolti da autori quali, ad esempio, Bowsky (1981), Ginatempo (1988), Passeri (1994), Malanima (2002), Piccini (2006), Brogi (2014).

Come sostengono i medievalisti, tra il 900 e il 1300 si verificò un'esplosione di attività agricole che portò ad intensi disboscamenti (in aree che tra il 300 e il 700 si erano rimboschite naturalmente o anche con un moderato intervento degli agricoltori/allevatori). Questa situazione di sviluppo economico-sociale, creatosi tra il regno dei Longobardi prima e il dominio franco-germanico del sacro romano impero poi, passò attraverso i liberi comuni per sfociare nelle signorie del 1400-1500. L'intrecciarsi virtuoso di iniziative, dovuto alle innovazioni tecniche, alla riscoperta dei classici e al rinnovato spirito imprenditoriale e culturale del periodo, determinò miglioramenti economici e un forte incremento demografico che condussero a porre un nuovo "sguardo" verso la campagna dove per motivi agricoli si intervenne con bonifiche (specialmente nelle aree circostanti i centri abitati) e disboscamenti. I risultati negativi di questa espansione economico-sociale, in termini di erosione e disastri naturali, si riflettono negli statuti di diverse città con un aumentare e dettagliare di obblighi di manutenzione di ponti, canali, strade.

Tra il 1200 e il 1300 si raggiunsero situazioni di agricoltura e allevamento relativamente sofisticate (campi chiusi, con coltivazioni anche sofisticate come quella dello zafferano, ecc.), che richiesero un complesso sistema di raccolta e canalizzazione delle acque di ruscellamento superficiale. Ciò rendeva necessaria una continua manutenzione ma, essendo questa un'attività di spesa o quantomeno non immediatamente redditizia, nei periodi più difficili veniva abbandonata. Su tale situazione, il 1348 portò la peste bubbonica che fece perdere alla Toscana gran parte della popolazione (Sie-

na ebbe difficoltà addirittura a scrivere contratti per l'assenza di notai). Inoltre, la peste arrivò in un momento di passaggio da una agricoltura in mano a piccoli proprietari ad una in mano a grossi proprietari, i quali gestivano i terreni col sistema della neonata mezzadria. La mancanza di contadini (anch'essi più che dimezzati dalla peste) causò l'abbandono delle opere di manutenzione e si ridusse (fino a scomparire) il controllo sul pascolo. Le Crete Senesi divennero in parte usate per il pascolo brado, ideale in mancanza di personale e in presenza di una quantità di bestiame giusta per una popolazione circa tripla dedicata all'agricoltura. Si giunse così nella condizione favorevole all'impostarsi nei depositi argillosi di un'erosione incanalata intensa. Incisi dai fossi, i campi divennero ancora più erosi (dando origine al paesaggio a biancane) e la situazione si perpetuò nel tempo fino a far nascere definizioni alquanto tardive (cioè settecentesche o ottocentesche), tipo "deserto di Accona", o attuali, quali *badlands* (ad esempio: Alexander, 1982; Calzolari & Ungaro, 1998; Torri *et al.* 2018 b). Da questo momento in poi i "campi di biancane" (si veda più avanti) rimangono elencati tra i sodi e i sodivi pascolati che si trovano nel catasto leopoldino ma che, dipinti nei rapporti di Razzi (1763), rivelano una realtà legata al pascolo (Amici *et al.* 2017; Torri *et al.*, 2018 b). Da evidenziare che l'impatto sociale avuto della peste porta a vederla come l'origine del dissesto ambientale delle Crete; Torri *et al.* (2018 a), fra l'altro, sulla base dei dati di Innocenti & Pranzini, (1993) collocano un picco di espansione verso mare della foce dell'Ombrore proprio nel periodo immediatamente seguente la peste.

Torri *et al.* (2018 a) hanno applicato alle biancane di Leonina i tassi di erosione di cui abbiamo detto in precedenza. In particolare lo applicano ad una coppia di biancane separate da un fosso, che avevano vegetazione sommitale sia nelle foto aeree del 1954 che nelle immagini del film di Monicelli "Brancaleone alle crociate" (1970 circa, scena del primo colloquio tra Brancaleone e la Morte e quella immediatamente precedente). Ciò porta a stimare la generazione delle biancane

come avvenuta nel 1370 ± 30 , in perfetto accordo con l'ipotesi di Barlucchi (1997). Va comunque detto che le biancane attualmente misurabili non rappresentano altro che un piccolo campione di quanto c'era un tempo, per cui la datazione non può essere estesa a tutta l'area se non in via approssimativa. D'altra parte, Lorenzetti sembra averne dipinte alcune nei suoi affreschi nella sala dei Nove (Piccinni, 1993). In effetti, le esondazioni dei corsi d'acqua delle Crete e della Val d'Orcia potrebbero aver generato biancane nelle relative aree; questa situazione può essere osservata lungo l'Orcia ed il Formone. I dati già citati della dinamica della foce dell'Ombrore avvalorano la stima fatta da Torri *et al.* (2018 a) e le danno una realtà territoriale.

Come si possono salvare le poche biancane rimaste? Considerazioni sul possibile restauro del paesaggio

I campi di biancane (quelli che una volta erano coltivati e che successivamente si sono trasformati in una fitta serie di biancane contigue) sono da mettere in relazione con l'azione dell'uomo (pascolo brado, anche su terreno bagnato, e ridotta copertura vegetale a seguito di incendi controllati per evitare il passaggio ad arbusteto) che ha sfruttato in maniera sconsiderata i terreni agricoli in concomitanza di eventi climatici particolarmente intensi (si evidenziano l'arrivo della piccola "era" glaciale tra il 1400 e il 1500 e la sua permanenza fino al 1830-1860; da questo momento in poi la temperatura ha cominciato a crescere con continuità fino ad oggi). Oggi le biancane residue, in particolare quelle di Leonina e di Lucciola Bella, potrebbero beneficiare dell'attività umana in quanto questa potrebbe ritardare o addirittura invertire la naturale successione della vegetazione che porta al loro inerbimento.

Per un'ipotesi di restauro del paesaggio a biancane si può prendere, come riferimento, la situazione del 1950. In tale data, queste zone erano ancora luogo di pascolo per cui il calpestio pro-

vocato dagli animali e l'azione della brucatura impedivano alla vegetazione di svilupparsi in modo omogeneo promuovendo la biodiversità di specie e di tipi di vegetazione.

Quando si pianifica un intervento di restauro delle comunità vegetali, che vorrebbe dire anche far ritornare le biancane nella loro forma tipica e cioè con il versante sud eroso, occorre ricreare condizioni adeguate alla sopravvivenza delle specie: laddove il gradiente ambientale è particolarmente forte la ripresa delle comunità vegetali diverrà un evento spontaneo che seguirà il ripristinarsi di condizioni ambientali favorevoli (Seabloom & Van Der Valk, 2003). Eventi di disturbo controllato, in aree che 50 anni fa erano scarsamente o per nulla vegetate, potrebbero innescare l'erosione dei suoli superficiali e ricreare le facce sud delle biancane prive di vegetazione (Mari-

gnani *et al.*, 2008). Così come lo stesso disturbo potrebbe ricreare le condizioni per la sopravvivenza di comunità di piante annuali, tipo quelle che vegetano alla base delle biancane. Secondo questi semplici principi il taglio degli arbusti e l'incendio controllato di piccole superfici (*non-recurring management*), insieme alla reintroduzione del pascolo (*recurring management*), potrebbero prolungare l'esistenza del peculiare paesaggio a biancane. Certo è che le priorità, negli ultimi 70 anni, sono cambiate: un tempo gli sforzi erano concentrati sulla bonifica di queste aree per utilizzarle a fini agricoli, oggi invece siamo chiamati a proteggere questi ambienti per il grande interesse naturalistico e paesaggistico che rivestono e per un ruolo di testimonianza sulla storia del paesaggio di queste terre.

Testi citati

Alexander D. (1982) - *Difference between "calanchi" and "biancane" badlands in Italy*. In: Bryan R., Yair A. (Eds.), *Badland Geomorphology and Piping*. Geobooks, Norwich, 71-88.

Amici V., Maccherini S., Santi E., Torri D., Vergari F. & Del Monte M. (2017) - *Long-term patterns of change in a vanishing cultural landscape: a GIS-based assessment*. *Ecological Informatics*, 37: 38-51. DOI:10.1016/j.ecoinf.2016.11.008.

Barlucchi A. (1997) - *Il contado senese all'epoca dei Nove - Asciano e il suo territorio tra due e trecento*. Leo S. Olschki, Firenze.

Bierbaß P., Wüdsch M. & Michalzik B. (2014) - *The impact of vegetation on the stability of dispersive material forming biancane badlands in Val d'Orcia, Tuscany, Central Italy*. *Catena*, 113: 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.08.003>.

Bowsky W.M. (1981) - *A Medieval Italian Commune: Siena under the Nine, 1287-1355*. University of California Press.

Branconi S., De Dominicis V., Boscagli A. & Boldi L. (1979) - *La vegetazione dei terreni argillosi pliocenici della Toscana meridionale. I. vegetazione pioniera ad Artemisia cretacea*. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Ser. B*, 86: 163-183.

Broggi F. (2014) - *Dalla caduta dell'Impero Romano al regno Longobardo*. In: *Sessano 714-Asciano 2014, 1300 anni di storia*, Sinalunga, Italy, 13-20.

Butaye J., Adriaens D. & Honnay O. (2005) - *Conser-*

vation and restoration of calcareous grasslands: a concise review of the effects of fragmentation and management on plant species. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 9: 111-118.

Calzolari C., Ristori J. & Sparvoli E. (1993) - *Soils of biancana badlands: distribution, characteristics and genesis in Beccanello farm (Tuscany, Italy)*. *Quaderni di Scienza del Suolo*, 3: 119-142.

Calzolari C., Torri D., Del Sette M., Maccherini S. & Bryan R. (1996) - *Evoluzione dei suoli e processi di erosione su biancane: il caso delle biancane de La Foce (Val d'Orcia, Siena)*. *Bollettino della Soc. Italiana di Scienza del Suolo, nuova serie*, 8: 185-203.

Calzolari C. & Ungaro F. (1998) - *Geomorphic features of a badland (biancane) area (Central Italy): characterisation, distribution and quantitative spatial analysis*. *Catena*, 31: 237-256.

Chiarucci A., De Dominicis V., Ristori J. & Calzolari C. (1995) - *Biancana badland vegetation in relation to soil and morphology in Orcia Valley, central Italy*. *Phytocoenologia*, 25: 69-87.

Colica A. & Guasparri G. (1990) - *Sistemi di fratturazione nelle argille plioceniche del territorio senese. Implicazioni geomorfologiche*. *Atti Accademia dei Fisiocritici*, Siena 15 (9): 29-36.

De Baets S., Torri D., Poesen J., Salvador M.P. & Meersmans J. (2008) - *Modelling increased soil cohesion due to roots with EUROSEM*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 1948-1963.

Della Seta M., Del Monte M., Fredi P. & Lupia Palmieri E. (2009) - *Space-time variability of denudation*

rates at the catchment and hill slope scales on the Tyrrhenian side of Central Italy. *Geomorphology*, 107: 161-177.

Gallart F., Marignani M., Pérez-Gallego N., Santi E. & Maccherini S. (2013) - *Thirty years of studies on badlands, from physical to vegetational approaches. A succinct review*. *Catena*, 106: 4-11.

Ginatempo M. (1988) - *Crisi di un territorio. Il popolamento della Toscana senese alla fine del Medioevo*. Leo S. Olschky, Firenze.

Giorgetti A. (2010) - *La pecora dell'Amiata e delle Crete senesi*. www.geogofili.info/detail.aspx?id=200.

Innocenti L. & Pranzini E. (1993) - *Geomorphological evolution and sedimentology of the Ombrone river delta, Italy*. *Journal of Coastal Research*, 9: 481-493.

Lindgren J.P. & Cousins S.A.O. (2017) - *Island biogeography theory outweighs habitat amount hypothesis in predicting plant species richness in small grassland remnants*. *Landscape Ecology*, 32: 1895-1906.

Maccherini S., Marignani M., Giora M., Renzi M., Rocchini D., Santi E., Torri D., Tundo J. & Honnay O. (2011) - *Determinants of plant community composition of remnant biancane badlands: a hierarchical approach to quantify species-environment relationships*. *Applied Vegetation Science*, 14: 378-387.

Malanima P. (2002) - *Leconomia italiana. Dalla crescita medievale alla crescita contemporanea*. Il Mulino, 498 pp., Bologna.

Marignani M., Del Vico E. & Maccherini S. (2007) - *Spatial scale and sampling size affect the concordance between remotely sensed information and plant community discrimination in restoration monitoring*. *Biodiversity and Conservation*, 16: 3851-3861.

Marignani M., Rocchini D., Torri D., Chiarucci A. & Maccherini S. (2008) - *Planning restoration in a cultural landscape in Italy using an object-based approach and historical analysis*. *Landscape and Urban Planning*, 84: 28-37.

Nannizzi A. (1956) - *Contribuzione allo studio della flora dei terreni argillosi pliocenici del senese ai fini del loro miglioramento agrari*. *Atti Accademia dei Fisiocritici*, 2: 1-37.

Passeri V. (1994) - *Gli insediamenti della Repubblica di Siena nel catasto del 1318-1320*. Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Storiche, Giuridiche, Politiche e Sociali.

Piccinni G. (1993) - *L'antropizzazione del paesaggio naturale: l'intervento dell'uomo sul paesaggio dal Medioevo all'Età moderna*. In: Giusti, F. (Ed.), *La Storia Naturale della Toscana Meridionale*. Monte dei Paschi di Siena, 469-487.

Piccinni G. (2006) - *La politica agraria del comune di Siena*. In: Cortonesi, A., Piccinni, G. (Eds.), *Medioevo delle Campagne*. Viella, Roma, 207-292.

Razzi F. (1763) - *Cabreo della Grancia di Castelluccio - Spedale di Siena*. Archivio di Stato di Siena.

Salvini R., Fantozzi P.L., Guastaldi E., Anselmi M., Ticci M., Nevini J., Riccucci R., Cutini S. (2007) - *Come sono variate la geomorfologia e l'uso del suolo nel territorio delle Crete Senesi (Comuni di Asciano e di San Giovanni d'Asso) dal dopoguerra ad oggi*. *Etrurianatura*, 4: 31-39.

Scoppola A. & Angiolini C. (1997) - *Vegetation of stream-bed garrigues in the Apennine range of Tuscany and Latium (central Italy), especially the new association Santolina etrusca-Saturejetum montanae*. *Phytocoenologia*, 27: 77-102.

Seabloom E.W. & Van Der Valk A.G. (2003) - *The development of vegetative zonation patterns*. *Journal of Applied Ecology*, 40: 92-100.

Thornes J.B. (1985) - *The ecology of soil erosion*. *Geography* 70: 222-235.

Torri D. & Bryan R. (1997) - *Micropiping processes and biancana evolution in southeast Tuscany*. *Geomorphology*, 20: 219-235.

Torri D. (1996) - *Slope, aspect and surface storage*. In: M. Agassi (ed.), *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*. Marcel Dekker, New York, 77-106.

Torri D., Borselli L., Calzolari C., Yañez M.S. & Salvador Sanchis M.P. (2002) - *Soil erosion, land use, soil qualities and soil functions: effect of erosion*. In: Rubio J.L., Morgan R.P.C., Asins S., Andreu V. (Eds.), *Man and Soil at the Third Millennium; Vol.I*, Geoforma Ediciones S.L., Logroño, Spain, 131-148.

Torri D., Poesen J., Borselli L., Bryan R. & Rossi M. (2012) - *Spatial variation of bed roughness in eroding rills and gullies*. *Catena*, 90: 76-86.

Torri D., Poesen J., Rossi M., Amici V., Spennacchi D. & Cremer C. (2018b) - *Gully head modeling: a Mediterranean badland case study*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43: 247-256.

Torri D., Santi E., Marignani M., Rossi M., Borselli L. & Maccherini S. (2013) - *The recurring cycles of biancana badlands: Erosion, vegetation and human impact*. *Catena*, 106: 22-30.

Torri D., Rossi M., Brogi F., Marignani M., Bacaro G., Santi E., Tordoni E., Amici V. & Maccherini S. (2018a). Chapter 4 - *Badlands and the Dynamics of Human History, Land Use, and Vegetation Through Centuries*, In: Nadal-Romero E., Martínez-Murillo J.F., Kuhn N.J. (Eds.), *Badlands Dynamics in a Context of Global Change*. Elsevier, 111-153. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813054-4.00004-6>

Vittorini S. (1977) - *Osservazioni sull'origine e sul ruolo di due forme di erosione nelle argille: calanchi e biancane*. *Bollettino Società Geografica Italiana*, Roma, Serie 10, 4: 25-54.

Studio del profilo storico degli impatti umani mediante analisi granulometriche e ecotossicologiche dei sedimenti: il caso del Canale di Ritorno a Mare nella piana di Follonica-Scarlinò

Cristina Romani*, Simonetta Corsolini*

* Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), Via Fiume 35, 58100 Grosseto.
c.romani@arpat.toscana.it

** Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, via P.A. Mattioli 4, 53100 Siena.
simonetta.corsolini@unisi.it

Introduzione

I sedimenti che si depositano al fondo di un corpo idrico sono costituiti da particelle organiche e da granuli inorganici, che rappresentano una componente fondamentale per tali ecosistemi; infatti, i processi microbici che vi avvengono determinano la rigenerazione dei nutrienti e, quindi, offrono una varietà di *habitat* per molte specie acquatiche. Poiché i sedimenti rappresentano il comparto preferenziale di accumulo per molti contaminanti (data la loro forte affinità con la fase particolata rispetto a quella acquosa), la loro analisi riesce a fornire importanti informazioni sullo stato di salute di un corpo idrico. Il comportamento, la distribuzione, il destino e la degradazione delle sostanze inquinanti dipendono dalle caratteristiche organiche di queste ultime e da quelle fisico-chimiche del sistema acqua-sedimento che le riceve; è soprattutto questo sistema a determinare le concentrazioni cui i diversi organismi saranno esposti (Knight, 1984).

I contaminanti che maggiormente si accumulano nei sedimenti sono gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i composti organici persistenti (POP). È da segnalare che i primi raggiungono nei sedimenti concentrazioni superiori di ordini di grandezza rispetto a quelle rilevate nelle acque (ISPRA, 2011). I metalli sono naturalmente presenti nei sedimenti in concentrazioni diverse a seconda della composizione geochemica dell'area. Essi diventano contaminanti quando la loro quantità aumenta a causa delle attività antropiche:

a seguito della loro immissione nell'ambiente, la dispersione avviene principalmente per fenomeni di deposizione atmosferica, deflusso dalle zone limitrofe urbane, agricole e industriali, deposizioni secche o umide, scarichi civili ed industriali. La contaminazione dei sedimenti di un corpo idrico comporta un rischio continuo per gli ecosistemi e la salute umana, a causa della diffusione e risospensione nella colonna d'acqua di contaminanti, nonché del conseguente trasferimento degli inquinanti ai vari livelli trofici della catena alimentare.

Lo stato di salute della zona dello sbocco in mare del Canale di Scarico proveniente dal complesso industriale del Casone di Scarlinò (nel seguito Canale di Ritorno a Mare) è stato valutato nel 2013 dalle aziende dell'area industriale e le indagini sono state supervisionate dal Dipartimento Provinciale di Grosseto dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT). I dati di questo monitoraggio sono stati utilizzati per effettuare un innovativo studio sui campioni di sedimento con l'obiettivo di delineare il profilo storico degli impatti umani in questa area mediante i dati delle analisi granulometriche ed ecotossicologiche. Pertanto, tale studio non è da considerarsi un'indagine sulla contaminazione dell'area e sulle modalità di accumulo *sensu stricto*, ma una speculazione scientifica per verificare la validità dell'approccio proposto. Alla luce della rilevanza dell'argomento, l'articolo che proponiamo aspira a rendere queste informazioni usufruibili da un pubblico più ampio.

Cenni di storia industriale relativi alla pianura di Follonica-Scarlino

Questo studio è stato compiuto in una zona che presenta un'interessante storia per quanto riguarda occupazione e uso da parte degli esseri umani. La conoscenza delle caratteristiche morfologiche e storico-industriali può quindi essere utile nella comprensione dei risultati ottenuti e delle considerazioni da essi suggerite.

Anteriormente al I secolo d.C. l'area marina, oggi occupata dalla pianura di Follonica-Scarlino, si era già trasformata in laguna per la formazione di un cordone litorale favorita dall'abbassamento del mare. Nei secoli successivi, il Fiume Pecora ha colmato il bacino con i suoi apporti detritici dando luogo ad un ambiente di tipo palustre (Mazzanti & Mazzei, 2015). La presenza di zone acquitrinose, dovuta all'evoluzione morfologica, ha favorito il proliferare delle zanzare del genere *Anopheles*, vettrici della malaria. Per ovviare a questo inconveniente e per recuperare il territorio è stata sentita l'esigenza di un intervento radicale, che si è però concretizzato più avanti nel tempo.

Sin dall'antichità, la pianura di Follonica-Scarlino è stata interessata da attività antropiche prevalentemente legate alla lavorazione della pirite. Già in epoca etrusca erano presenti, lungo la costa dal Puntone di Scarlino a Follonica, una serie di insediamenti industriali per l'estrazione del ferro dall'ematite trasportata in prevalenza dall'Isola d'Elba (Cambi *et al.*, 2009). Le numerose miniere presenti sulle Colline Metallifere erano utilizzate principalmente per ottenere altri metalli (rame, piombo e argento), in quanto le temperature che si raggiungevano nei forni a legna dell'epoca erano sufficienti ad estrarre dalla pirite solo piccoli quantitativi di ferro. Le ingenti quantità di materiale di scarto (loppi), derivanti dalla fusione della materia prima e accumulate fra il tombolo costiero e il padule, venivano usate per incrementare il riempimento dell'area poiché dopo un primo periodo di bonifica risultava chiaro che l'esiguità dell'apporto solido del Fiume Pecora non consentiva di effettuare le colmate nei tempi voluti. Solo

nel 1830, comunque, grazie al Granduca Leopoldo II di Lorena furono realizzate vere operazioni di bonifica. Il piano dei Lorena prevedeva la colmata delle aree palustri più prossime a Follonica tramite l'arginatura del Pecora e la realizzazione di un Canale Allacciante con sbocco a mare che aveva il compito di convogliare nella palude sia le acque del fiume che quelle cariche di limi provenienti dai colli di Scarlino e Gavorrano (Giannini & Biondi, 2001). Allo stato attuale, il Canale Allacciante raccoglie anche gli apporti delle acque in uscita da alcuni depuratori civili di paesi limitrofi, per poi sfociare in mare in località Puntone.

Il complesso industriale del Casone di Scarlino, che si estende fino al mare ed occupa un'area complessiva di circa 3 km², costituisce la più forte concentrazione produttiva dell'intera provincia di Grosseto e si configura come una realtà ormai fortemente consolidata nel territorio. Alla sua nascita, nel 1962, produceva acido solforico a partire dalla pirite, oleum, *pellets* di ossido di ferro ed energia elettrica ottenuta attraverso lo sfruttamento del vapore recuperato dalla reazione esotermica del processo produttivo. Dato che le pirite maremmane avevano un costo di estrazione troppo alto per essere, come nel passato, commercializzate nei mercati nazionali ed internazionali, solo il processo produttivo dell'acido solforico garantiva la sopravvivenza dell'industria mineraria nell'entroterra (Saragosa, 1995).

Per far fronte alle normali attività di gestione dell'impianto, nei primi anni '60 furono costruiti anche due canali artificiali (privi di affluenti naturali), uno di Carico (o di Adduzione) e l'altro di Scarico (Canale di Ritorno a Mare). Questi canali esistono ancora oggi: partono dallo stabilimento, corrono in parallelo nella piana per 3250 m e si diramano all'intersezione con la Strada Provinciale 158 delle Collacchie prima di giungere al mare (Fig. 1). Il Canale di Carico convoglia, per gravità, il flusso di acqua marina verso il bacino di raccolta di tutto il complesso industriale e si origina presso il pontile per l'attracco delle navi; quello di Ritorno a Mare sfocia in mare al Puntone di Scarlino (quindi più a sud rispetto all'altro) dopo

reti trofiche dove bioaccumulano negli organismi e possono causare effetti tossici (www.chm.pops.int). Le diossine sono sottoprodotti indesiderati di una serie di processi chimici e/o di combustione. Dato che non tutti i congeneri sono tossici o lo sono alla stessa maniera, per riuscire a esprimere la tossicità dei singoli congeneri è stato introdotto il concetto di fattore di tossicità equivalente (Toxic Equivalency Factors, TEF). I fattori di tossicità equivalente si basano sulla considerazione seguente: PCDD e PCDF sono composti strutturalmente simili che presentano il medesimo meccanismo di azione a livello della cellula (attivazione del recettore arilico, AhR) (Safe, 1990) e producono effetti tossici equivalenti; proprio il legame tra le diossine e il recettore Ah è il passo chiave per il successivo innescarsi degli effetti tossici (Vighi *et al.*, 1998).

Lo sviluppo dei TEF è basato su due presupposti:

- 1) il meccanismo d'azione a livello cellulare deve essere mediato da un recettore
- 2) l'interazione fra la sostanza e il recettore deve essere stereoselettiva.

La 2,3,7,8-TCDD (tetraclorodibenzo-p-diossina: i 4 atomi di cloro sono nelle posizioni 2,3,7,8 del bifenile) è considerata il composto più tossico tra tutti i composti diossino-simili (PCB, PCDD, PCDF; Corsolini, 2012) in quanto presenta la maggiore affinità di legame per il recettore cellulare (recettore arilidrocarbonico, Ah-R). Il potenziale tossico di un composto diossino-simile è valutato mediante l'uso dei TEF, che esprimono la tossicità di un composto in rapporto a quella della 2,3,7,8-TCDD. Tale valore è usato per valutare il potenziale tossico di miscele di composti diossino-simili e si esprime in Tossici Equivalenti (TEQ; per approfondimenti sui metodi di calcolo e sul significato dei TEF e dei TEQ si veda in Corsolini, 2012). I TEQ sono stati calcolati considerando sia i valori degli *International TEF* (I-TEF), attualmente utilizzati per l'espressione della concentrazione totale di PCDD e PCDF in matrici abiotiche (I-TEQ), sia i valori proposti dalla Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-TEF), definiti per PCDD, PCDF e PCB (WHO-TEQ; Van den Berg *et al.*, 2006).

I policlorobifenili (PCB) sono composti che destano particolare preoccupazione a causa della loro persistenza, tossicità, potenziale di trasporto a lungo raggio e proprietà di bioaccumulo. Sono quindi inseriti nella lista dei POP (www.chm.pops.int). In passato, questi composti sono stati ampiamente usati nell'industria e sono caratterizzati da bassa tensione di vapore, bassa solubilità in acqua e da persistenza nell'ambiente (Diamond *et al.*, 2010). Sebbene l'uso dei PCB sia stato bandito in Italia dal 1984, livelli apprezzabili di PCB possono essere rilevati nei sedimenti dei mari italiani (Pozo *et al.*, 2009). I PCB diossino-simili sono 12 dei 209 congeneri e possono assumere una conformazione planare (per questo sono definiti coplanari) che conferisce loro caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche paragonabili a quelle di PCDD e PCDF.

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono una famiglia di composti a due o più anelli aromatici condensati; essa include diverse centinaia di composti che si differenziano per il numero e la qualità degli anelli, oltre che per le molteplici combinazioni di ramificazioni alchiliche laterali. Tra questi idrocarburi hanno particolare rilevanza tossicologica, a causa della loro accertata mutagenicità e cancerogenicità, quelli derivati dall'antracene, dal fluorantene e dal pirene (Cocheo, 2000). Generati da processi di combustione o dispersi a seguito di sversamenti di petroli, gli IPA sono una diffusa classe di contaminanti ambientali con proprietà mutagene e cancerogene; possono accumularsi nelle diverse matrici ambientali a causa della bassa solubilità in acqua che permette loro di legarsi al particolato organico e, infine, di accumularsi nei sedimenti come serbatoio finale.

I metalli non si fissano in modo permanente nei sedimenti, ma possono ritornare nella colonna d'acqua a seconda delle caratteristiche chimico-fisiche del sistema acquoso e dei processi biologici e chimici che vi si svolgono. Questi elementi tossici possono essere molto diluiti nella fase acquosa e accumularsi progressivamente a contatto con il sedimento, raggiungendo concentrazioni che non di rado superano di due o tre ordini di grandezza



Fig. 2 - a) Area di foce del Canale di Ritorno a Mare; b) schema delle stazioni di campionamento; c) carotatore in azione.

quelle osservate nelle acque sovrastanti (De Vivo *et al.*, 2004).

Procedure di campagna

Le aziende operanti nell'area industriale e ARPAT hanno effettuato un monitoraggio dell'area e quindi provveduto al reperimento dei campioni e alle analisi. L'ARPAT ne ha validato tutte le operazioni e le procedure tecniche di indagine e ha eseguito le analisi di alcuni campioni nei propri laboratori. Il documento n. 7029 del 31/01/2014, reso pubblico da ARPAT (e in cui ARPAT ha comunicato agli enti e agli impianti coinvolti i risultati delle indagini svolte), riporta i dati analitici relativi ai sedimenti raccolti alla foce del Canale di Ritorno a Mare e riassume le attività svolte nel 2013.

Le operazioni di campionamento del sedimento nel Canale di Ritorno a Mare, condotte ad aprile 2013, si sono articolate secondo uno schema che ne ha fornito una caratterizzazione completa delle zona di foce; il prelievo dei campioni è stato effettuato in punti diversi (stazioni),

in senso orizzontale e verticale. Va ricordato che la porzione a monte del canale è costituita da un alveo artificiale (a sezione trapezoidale) cementato e quindi privo di depositi sedimentari; per tale ragione il campionamento è stato eseguito solo nella tratto prossimo alla foce (Fig. 2). Questo tratto, parte integrante del canale industriale, è inibito all'uso pubblico ma risulta prossimo ad aree litoranee liberamente fruibili. La scelta del luogo di campionamento, a nord rispetto alla foce, è avvenuta come conseguenza del prevalere delle correnti marine e quindi dello spostamento dell'acqua del canale in tale direzione. La valutazione è stata effettuata attraverso i dati del monitoraggio delle temperature nei tre punti FOCE Canale, lato SUD e lato NORD: nei due anni precedenti al momento del campionamento dei sedimenti (Monitoraggio Balneazione 2011-2013, dati ARPAT) sono state infatti osservate temperature dell'acqua mediamente più alte nella zona NORD rispetto a quelle della zona SUD, come conseguenza dell'apporto di acqua calda da parte del canale in oggetto. Nel 54% dei casi le temperature del punto a NORD erano maggiori del punto a SUD, nel 33% dei casi le temperature

a SUD e NORD non risentivano dell'apporto di acqua calda dal canale e nel 13% dei casi le temperature a SUD erano maggiori di quelle NORD.

Nell'area indagata, che riguarda gli ultimi 100 m del canale per una larghezza massima di 50 m, sono state individuate due sub-aree di 50 x 50 m e, in ciascuna di esse, sono state definite 3 stazioni di prelievo lungo ognuno dei due transetti (ST1 e ST2) ortogonali all'asse dell'alveo. Le sei stazioni sono state posizionate secondo lo schema riportato in figura 2 e denominate ST-1A, ST-1B, ST-1C nel transetto di monte, ST-2A, ST-2B, ST-2C nel transetto di valle.

Le carote di sedimento sono state raccolte mediante carotaggio continuo con carotiere meccanico (movimentato a mezzo di autogrù con braccio estendibile per operare lungo i transetti) e fustelle in polietilene (Fig. 3). Il carotaggio è stato eseguito garantendo la verticale e in maniera da minimizzare il disturbo dei sedimenti attraversati, l'eccessiva compattazione della carota e il

propagarsi dei contaminanti dagli strati superiori a quelli inferiori. Da ciascuna stazione è stata prelevata una carota di circa 2 m di lunghezza, sigillata all'atto della sua estrusione dal carotiere tramite tappi in polietilene e nastro adesivo. Solo la perforazione della stazione 1C, che ha permesso la realizzazione di una carota di 240 cm, ha raggiunto il substrato preindustriale (come spiegato in seguito) (Fig. 3). Dopo il prelievo, ciascuna fustella è stata estratta dal carotiere e tagliata per separare sezioni di 50 cm (Fig. 3).

La porzione superficiale dei sedimenti (5 cm) è stata campionata mediante secchiello con braccio allungabile (Fig. 3). I campioni superficiali sono stati prelevati a 1 m dal luogo del carotaggio per non disturbare le operazioni e alterare il profilo della carota (Fig. 3). Ciascuna sezione di carota è stata estratta dalla fustella con una spatola di acciaio, omogeneizzata in una vaschetta di polietilene e suddivisa in 2-3 aliquote. Complessivamente sono stati raccolti 32 campioni (Tab. 1).



Fig. 3 - Da sinistra in alto: il carotiere, la fustella di polietilene per la raccolta dei sedimenti più profondi, il prelievo dei sedimenti più superficiali. Da sinistra in basso: lo schema di suddivisione delle frazioni e il sedimento del substrato preindustriale.

Metodologie analitiche e controllo di qualità

Le caratteristiche granulometriche e chimico-fisiche dei campioni sono state accertate seguendo un metodo di *routine* che prevede l'uso di setacci a maglie decrescenti, impilati l'uno sull'altro, e il prelievo della sospensione di particelle a diverse altezze ed a tempi prestabiliti per isolare le varie frazioni granulometriche (D.M., 1999; Approvazione dei Metodi Ufficiali di Analisi chimica del suolo). Per studiare le caratteristiche fisiche della frazione rinvenuta a profondità maggiore di 2 m è stato utilizzato un microscopio digitale Bresser dm 400 USB-80x; con lo stesso strumento è stato osservato anche un campione di sabbia superficiale prelevato sull'arenile alla distanza di circa 1 km dal lato nord della foce del Canale di Ritorno a Mare.

Le analisi dei campioni per la determinazione dei contaminanti organici ed inorganici sono state curate dal laboratorio pH s.r.l. di Firenze (<https://www.tuv.it/it-it>), operante con sistema di garanzia di qualità per i contaminanti oggetto di determinazioni analitiche. I laboratori di ARPAT hanno invece eseguito in replica le analisi su un numero ridotto di campioni. Per la presenza di composti organici diossino-simili (PCB, PCDD,

PCDF), sono stati analizzati: 6 campioni di deposito recente (profondità = 0-5 cm), 6 campioni di ciascuna sezione di carota superficiale (0-50 cm), 6 campioni della sezione di carota intermedia (50-100 cm), 1 campione di sabbia prelevata in mare a 50 metri dalla zona di indagine e 1 campione di substrato preindustriale (tra 200 e 240 cm di profondità) (Tab. 1).

Le analisi dei contaminanti organici prevedevano un'estrazione dai campioni di sedimento tramite apparato Soxhlet, una purificazione del campione e una separazione dei contaminanti mediante cromatografia su colonna impaccata. La determinazione di PCB e IPA è stata eseguita attraverso tecnica gascromatografica accoppiata a spettrometria di massa (GC-MS), quella di PCDD e PCDF mediante gascromatografia ad alta risoluzione accoppiata a spettrometria di massa a bassa risoluzione (HRGC-MS).

Per la determinazione dei metalli (arsenico, piombo, rame, zinco), eseguita su tutti i campioni, sono stati seguiti i metodi di *Environmental Protection Agency* (EPA) n. EPA 3051A:2007, EPA 6020A:2007 (reperiti alla pagina www.epa.gov); tali metodi prevedono una digestione acida in forno a microonde per permettere la dissoluzione della matrice ed il passaggio dei metalli in soluzione. La determinazione analitica è stata

Stazione di campionamento	Deposito recente (0-5 cm): sigla campione	Livello superficiale (0-50cm): sigla campione	Livello intermedio (50-100cm): sigla campione	Livello intermedio (100-150cm): sigla campione	Livello profondo (150-200cm): sigla campione	Livello profondo (>200cm): sigla campione
1A	1A_0-5	1A_0-50	1A_50-100	1A_100-150	1A_150-200	--
1B	1B_0-5	1B_0-50	1B_50-100	1B_100-150	1B_150-200	--
1C	1C_0-5	1C_0-50	1C_50-100	1C_100-150	1C_150-200	1C_200-240
2A	2A_0-5	2A_0-50	2A_50-100	2A_100-150	2A_150-200	--
2B	2B_0-5	2B_0-50	2B_50-100	2B_100-150	2B_150-200	--
2C	2C_0-5	2C_0-50	2C_50-100	2C_100-150	2C_150-200	--
Sabbia a 50m dalla foce	FOCE 50m	--	--	--	--	--

Tab. 1 - Schema del campionamento nelle stazioni e codice identificativo dei campioni

invece effettuata mediante spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS).

Poiché la qualità del dato analitico è dettata principalmente dalla sua accuratezza, precisione e rappresentatività, è sempre necessario effettuare controlli sulla affidabilità dei metodi analitici impiegati e sulla qualità dei dati ottenuti. Nell'espressione del dato finale è quindi importante definire il limite di rilevabilità (LOD) del metodo, ovvero il limite inferiore di concentrazione sotto il quale il campione non può essere rilevato con sufficiente probabilità statistica. I metodi applicati in questo studio sono stati oggetto di valutazioni secondo il Controllo di Qualità e sono noti i valori dei LOD e di ogni altro parametro che conferisca affidabilità al dato analitico espresso.

Risultati

ANALISI GRANULOMETRICHE E CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

L'analisi granulometrica ha evidenziato, in tutte le carote prelevate nel transetto ST1 (a monte rispetto a ST2), una prevalente composizione sabbiosa (diametro delle particelle compreso tra 2,0 e 0,05 mm) negli strati più superficiali (fino a 50 cm di profondità) e limo-argillosa (diametro delle particelle <0,05 mm) in quelli più profondi. Il sedimento a composizione limosa, di colore marrone scuro talvolta striato di amaranto, compare a partire dalla profondità di 70-80 cm e termina alla profondità di circa 160-170 cm. Lungo il transetto ST2 e per l'intera profondità indagata (da 0 a 200 cm) i campioni hanno presentato una componente sabbiosa molto elevata (>85%), tipica della sabbia dell'area antistante la foce del canale. Il campione FOCE_50 m, prelevato nell'arenile 1 km a nord dalla foce del canale, ha mostrato la caratteristica frazione granulometrica sabbiosa (Fig. 4). Una netta prevalenza di sabbia (96,6 %) è stata rilevata anche nel campione 1C raccolto alla profondità di 240 cm.

Un esame microscopico è stato eseguito sia su

un campione proveniente dalla sezione di carota compresa tra 200 e 240 cm, sia su quello denominato FOCE_50 m (Fig. 4): dalla comparazione è risultata una similarità nella granulometria e nelle strutture tetraedriche dei granelli di silice. Da un punto di vista macroscopico, tuttavia, i due campioni mostravano differenze; infatti, il campione superficiale era di colore più rossastro (dovuto all'ossidazione) e quello più profondo presentava una maggiore abbondanza di gusci di gasteropodi e lamellibranchi marini. La presenza in quest'ultimo campione di materiale antecedente la costruzione del canale (1965) ha fatto supporre che il processo di antropizzazione dell'area abbia interessato i 200 cm superficiali della carota ST1. Di conseguenza, il campione indicativo del substrato preindustriale è stato considerato come livello di fondo dei contaminanti. In effetti, tra le metodologie accreditate per fissare i livelli di fondo naturali di specifiche sostanze nei sedimenti, viene suggerito di utilizzare siti giudicati rappresentativi delle condizioni non contaminate o, in alternativa, dati storici relativi ad un sito specifico o profili di concentrazione misurati mediante appositi carotaggi attraverso vari strati di sedimenti (Mac Donald, 1994).

Nel punto di campionamento ST-1B è stato osservato un marcato spessore dello strato limoso riconducibile alle caratteristiche morfodinamiche dell'ambiente di deposizione; il punto, ubicato a valle del ponte di attraversamento della strada provinciale del Puntone, occupa infatti la posizione intermedia del canale che è caratterizzata da un rallentamento della velocità delle acque dovuto alla presenza dei piloni di fondazione dello stesso ponte.

POLICLOROBIFENILI (PCB)

I valori più elevati dei PCB sono stati rilevati nei campioni dell'area a monte (lungo il transetto ST1). Le concentrazioni erano minori nella frazione superficiale delle carote e maggiori, anche di più ordini di grandezza, in quella profonda, confermando la maggiore presenza dei contaminanti nelle frazioni granulometriche inferiori (Fig. 5).



Fig. 4 - A) Sedimento estremamente plastico per la granulometria molto fine; B) punti di campionamento di sabbia del litorale; C) fotografie al microscopio della sabbia.

Tale andamento può essere spiegato anche dal fatto che il sedimento profondo riflette forse i livelli di fondo relativi al periodo di costruzione del canale, quando l'uso di questi contaminanti era permesso (lo è stato fino agli anni '70 e oltre, grazie a deroghe). Un valore $<5 \mu\text{g}/\text{kg}$ nel sedimento del substrato preindustriale (ST-1C 200-240 cm) è da considerarsi significativo in questo senso. La sub-area ST2 mostrava concentrazioni inferiori di due ordini di grandezza rispetto alla sub-area a monte, indipendentemente dal punto di campionamento e profondità.

La concentrazione di PCB ($<5-2219 \mu\text{g}/\text{kg}$) era sempre inferiore al valore soglia previsto dalla legislazione italiana (D. Lgs. 152/06, allegato 5 al titolo V, parte IV tabella 1) per siti ad uso commerciale ed industriale e pari a $5000 \mu\text{g}/\text{kg}$. I dati ottenuti

sono simili a quelli riportati nella letteratura scientifica per aree antropizzate vicino a insediamenti urbani, industriali o agricoli. Fra l'altro, le concentrazioni più elevate sono del tutto confrontabili con quelle riportate in campioni della Laguna di Venezia (Frignani *et al.*, 2001) e del Mar Piccolo di Taranto (Cardellicchio *et al.*, 2007), due aree industrializzate e quindi paragonabili come uso del territorio.

POLICLORODIBENZO-DIOSSINE E -FURANI E TEQ

Le concentrazioni della somma di tutti i congeneri di PCDD (ΣPCDD) nei campioni di sedimento del Canale di Ritorno a Mare variavano da 0,0002 a $1,1261 \mu\text{g}/\text{kg}$, mentre la sommatoria dei congeneri di PCDF (ΣPCDF) da 0,0009 a $2,6059 \mu\text{g}/\text{kg}$. Entrambi i transetti presentavano concentra-

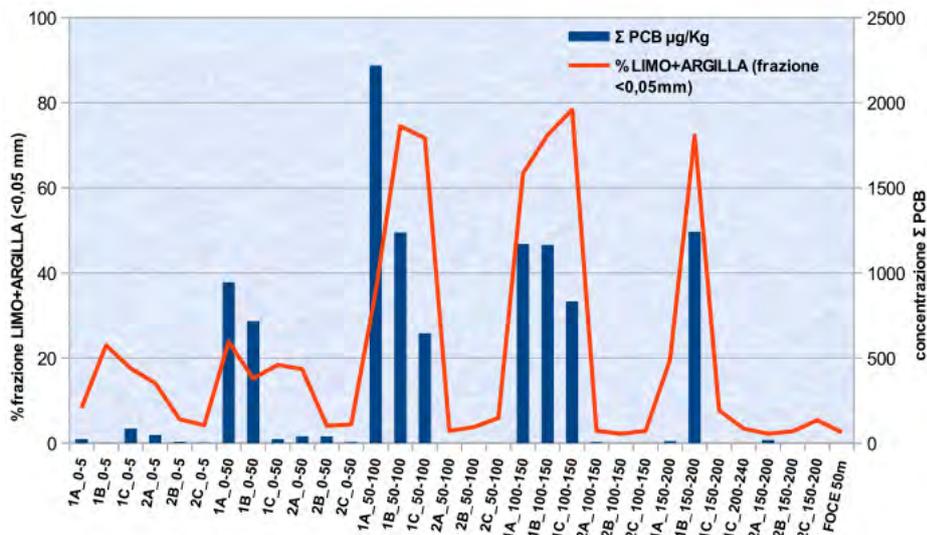


Fig. 5 - Relazione tra la concentrazione della Σ PCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$) e la tessitura dei sedimenti.

zioni di PCDD e PCDF più elevate nelle sezioni superficiali (frazioni da 0 a 5 cm e frazioni da 0 a 50 cm) di tutte le carote (Fig. 6), con PCDF > PCDD in tutti i campioni. I campioni del transetto di monte ST1, inoltre, mostravano concentrazioni maggiori rispetto agli altri. Da notare che le concentrazioni di PCDD e PCDF erano dello stesso ordine di grandezza dei valori rilevati nella Laguna Interna di Venezia (1 e 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$, rispettivamente; Raccanelli *et al.*, 2008). La concentrazione della PCDD+PCDF nel campione identificato come substrato preindustriale (ST-1C_200-240 cm) era di 0,018 $\mu\text{g}/\text{kg}$, confermando un minore accumulo nei sedimenti antecedenti l'inizio delle attività industriali; tale valore si avvicina alla concentrazione di 0,03 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rilevata nel deposito preindustriale della Laguna di Venezia (Raccanelli *et al.*, 2008).

L'approccio degli I-TEF serve per esprimere la tossicità in modo da poterla confrontare nelle matrici ambientali. Il metodo dei WHO-TEF è invece utilizzato per valutare il rischio dovuto al consumo di prodotti destinati all'alimentazione umana o per la stima del rischio per popolazioni di organismi. Le concentrazioni di TEQ_PCDD, TEQ_PCDF e TEQ_PCB sono state calcolate usando entrambi i valori di I-TEF e WHO-TEF: gli I-TEQ sono stati usati per poter confrontare i valori con i limiti della normativa ambientale (Kutz *et al.*, 1990), i WHO-TEQ per effettuare una valutazione della tossicità (Van den Berg *et al.*, 2006). I dati si riferiscono ai

campioni superficiali e a quelli fino alla profondità di 100 cm. Le concentrazioni espresse in I-TEQ (TEQ_PCDD+PCDF: <0,5-178,2 ng/kg) erano sempre maggiori di quelle dei WHO-TEQ (TEQ_PCDD+PCDF: <0,5-158,4 ng/kg; TEQ_PCB: 0,66-145,3 ng/kg). In altre parole, i campioni esaminati contenevano soprattutto contaminanti meno affini alla 2,3,7,8-TCDD e quindi meno tossici.

Le concentrazioni di I-TEQ_PCDD/F, rilevate nei sedimenti del canale, mostravano valori compresi tra 0,5 e 178 ng/kg; la media delle concentrazioni calcolata tra tutti i campioni era 26,3 ng/kg, circa un ordine di grandezza inferiore alle concentrazioni calcolate nei campioni provenienti dai canali industriali della Laguna di Venezia (300 ng/kg). Nei sedimenti presenti in aree del Nord America lontane da potenziali sorgenti di contaminazione, i valori dei TEQ di PCDD e PCDF erano 5.3 ± 5.8 pg/kg I-TEQ (EPA, 2006) e quindi inferiori di alcuni ordini di grandezza al valore più elevato di questo studio; tale differenza non deve meravigliare perché i campioni provengono da aree a diverso livello di antropizzazione.

Il contributo maggiore alla concentrazione totale dei TEQ nei campioni superficiali del transetto di monte (ST1) è dato da PCDD e PCDF, mentre nei sedimenti profondi i PCB rappresentano la maggior parte del residuo di contaminanti. Ciò è dovuto alla sedimentazione storica dei contaminanti: in passato, ovvero nel periodo in cui il

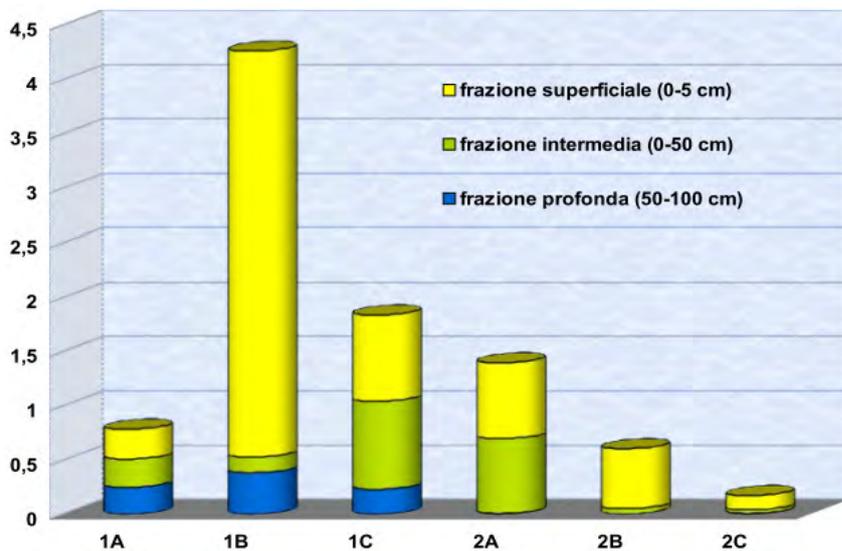


Fig. 6 - Concentrazione della $\Sigma\text{TEQ}_{\text{PCDD+PCDF}}$ nei vari siti di campionamento ($\mu\text{g}/\text{kg}$) e distribuzione rispetto alla profondità.

canale è stato costruito, i PCB sono stati usati in grandi quantità a livello globale, mentre PCDD e PCDF sono sempre stati prodotti involontari di produzione e combustione (a parte il caso dell'Agente Orange, prodotto dagli USA e utilizzato durante la guerra del Vietnam) e quindi presenti in quantità molto inferiori negli ecosistemi. A partire dagli anni '80, l'uso dei PCB è progressivamente diminuito per il divieto di produzione ed uso e, quindi, anche i residui nell'ambiente hanno iniziato a diminuire. A causa della loro origine, PCDD e PCDF continuano invece ad essere presenti, essendo prodotti involontari di processi industriali e di combustione, anche domestica, e di cremazione.

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)

Le concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), rilevate nei sedimenti, variavano da valori inferiori al limite di rivelabilità strumentale ($<0,1 \text{ mg}/\text{Kg}$) a circa $20 \text{ mg}/\text{kg}$; quest'ultimo valore, in particolare, è stato riscontrato nel campione della stazione di monte ST1-B alla profondità di 100-150 cm. Le concentrazioni della somma degli IPA, comunque, erano sempre inferiori al valore soglia di $100 \text{ mg}/\text{kg}$ del D. Lgs.152/06 (allegato 5, titolo V, parte IV, tabella 1, colonna B, siti ad uso commerciale ed industriale). Infine, i valori di IPA nel campione prelevato alla foce (FOCE_50) e in quello del substrato preindustriale (1C_200-240)

erano inferiori a $0,1 \text{ mg}/\text{Kg}$, confermando l'andamento già rilevato per i PCB.

IDROCARBURI PESANTI ($C>12$)

La plasticità evidenziata durante il campionamento del sedimento profondo e il rilevamento di IPA nel transetto ST1 ha stimolato l'interesse per la determinazione degli idrocarburi con numero di atomi di carbonio superiore a 12 ($C>12$). Le concentrazioni di questi idrocarburi erano abbastanza elevate ($150\text{-}536 \text{ mg}/\text{kg}$), pur rimanendo al di sotto dei limiti di accettabilità imposti dal D. Lgs. 152/06 e pari a $750 \text{ mg}/\text{kg}$. I sedimenti profondi presentavano concentrazioni maggiori di idrocarburi pesanti, anche se le differenze con i valori rilevati nei sedimenti superficiali non erano significative.

METALLI

Le concentrazioni di metalli nei campioni del transetto di monte ST1 erano, in genere, più elevate rispetto a quelle rilevate nei campioni del transetto di valle (ST2). Inoltre, la loro quantità aumentava con la profondità e la diminuzione della tessitura del sedimento (Fig. 7). Le concentrazioni di arsenico, cadmio, cromo, ferro, mercurio, nichel, piombo, rame, zinco e vanadio nei sedimenti superficiali alla foce del canale di scarico (campione FOCE_50 m) erano dello stesso ordine di grandezza di quelle rilevate nei sedimenti marini prelevati nelle località di Carbonifera e Punta Ala, rispettivamente a nord

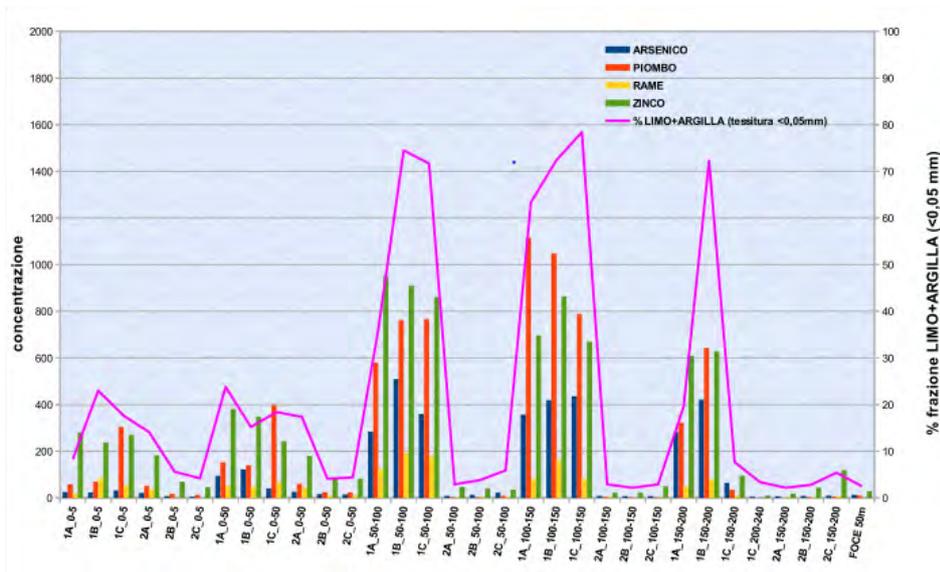


Fig. 7 - Relazione tra la concentrazione dei metalli (mg/kg) nelle stazioni di campionamento e la tessitura dei sedimenti (% frazione limo+argilla).

e a sud dell'area di studio, nel periodo 2002-2012 (ARPAT, 2016); il campione di substrato preindustriale (1C_200-240) mostrava invece valori inferiori, a conferma della minima esposizione ai contaminanti.

Le concentrazioni di alcuni metalli sono state confrontate con quelle riscontrate in uno studio condotto su sedimenti prelevati lungo la costa laziale (Branca *et al.*, 1996): le concentrazioni di ferro nei campioni del transetto di valle ST2 erano simili a quelle dei campioni della costa laziale, mentre le concentrazioni dello stesso metallo nei campioni del transetto di monte ST1 erano superiori di un ordine di grandezza; in questi ultimi campioni, anche piombo e zinco erano più elevati. Le concentrazioni di manganese, rame, cromo, nichel erano, infine, simili o inferiori a quelle rilevate lungo la costa laziale.

Considerazioni conclusive

Le analisi dei composti organici persistenti e dei metalli contenuti nei sedimenti del Canale di Ritorno a Mare del complesso industriale del Casone di Scarlino hanno permesso di verificare l'impatto umano sull'area e di risalire alla storia del luogo. Le attività umane hanno lasciato nei sedimenti accumuli di inquinanti di diversa entità in funzione della profondità: concentrazioni in genere basse negli strati superficiali, più elevate in profondità e

nuovamente in diminuzione in corrispondenza del sedimento profondo, relativo al periodo precedente l'inizio delle attività industriali. La presenza di contaminanti inorganici e organici negli strati più profondi è dovuta alla loro maggiore affinità per il sedimento, il quale tende a funzionare da "trappola" per essi.

L'andamento delle concentrazioni dei contaminanti sembra essere in sintonia con l'evolversi della legislazione ambientale. Questa è recente e risale alla fine degli anni '60, quando la crisi ambientale e la nuova consapevolezza sociale portarono allo sviluppo coordinato di sforzi per la difesa dell'ambiente. Il diritto ambientale in senso stretto nasce convenzionalmente nel 1970, contemporaneamente all'affermazione di una politica ambientale da parte dei governi del mondo occidentale. A partire da questa data, le Regioni hanno svolto un ruolo significativo in Italia, spesso anticipando le riforme dello Stato soprattutto nella gestione delle aree protette. A partire dalla istituzione del Ministero dell'Ambiente nel 1986 inizia un'intensa attività normativa per alcuni decenni. In tale contesto non stupisce il rilevamento di concentrazioni rilevanti di inquinanti alle profondità dei sedimenti corrispondenti ai decenni passati (assenza di regolamentazione di uso e produzione) e di concentrazioni decrescenti negli strati corrispondenti ai tempi recenti, in cui l'attenzione per l'ambiente è maggiore e le leggi ambientali entrano in vigore.

Si ringrazia l'Agenzia Regionale di Protezione Ambientale (ARPAT) per aver messo a disposizione i dati storici sui monitoraggi, i dati relativi al campionamento, i relativi rapporti di analisi e il materiale bibliografico in genere. Si ringrazia altresì il Dr Giancarlo Sbrilli per la revisione del manoscritto e per i preziosi commenti.

Testi citati

ARPAT (2016) - *Monitoraggio acque marino-costiere della Toscana*. Attività di monitoraggio 2015, Classificazione del triennio 2013-2015.

<http://www.arpato.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arpato/monitoraggio-acque-marino-costiere-della-toscana-2015/attachment_download/pubblicazione>.

Branca M.E., Calderoni G. & Petrone V. (1996) - *Geochimica dei sedimenti*. Chimica delle acque e dei sedimenti marini: 109-143.

Cambi F., Cavari F. & Mascione C. (2009) - *Materiale da costruzione e produzione del ferro. Studi sull'economia popoloniese fra periodo etrusco e romanizzazione. Parte seconda*. Edizioni Edipuglia: 133-195.

Cardellicchio A., Buccolieri S., Giandomenico S., Lopez L., Pizzulli F. & Spada L. (2007) - *Organic pollutants (PAHs, PCBs) in sediments from the Mar Piccolo in Tarento (Ionian Sea, Southern Italy)*. Marine Pollution Bulletin, 55(10-12): 451-458.

Corsolini S. (2012) - *Contaminanti organici persistenti in pesci edibili: un problema per l'uomo e per l'ambiente*. Etrurianatura, 9: 54-61.

EPA (2006) - *An Inventory of Sources and Environmental Release of Dioxin-like Compounds in the United States for the Years 1987, 1995 and 2000*. EPA/600/P-03/002F: 360-396.

Kutz F.W., Barnes D.G., Bottimore D.P., Greim H. & Bretthauer E.W. (1990) - *The International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds*. Chemosphere, 20: 751-757.

Frignani M., Bellucci L.G., Carraro C. & Raccanelli S. (2001) - *Polychlorinated biphenyls in sediments of the Venice Lagoon*. Chemosphere, 43(4-7): 567-575.

Giannerini D. & Biondi A. (2001) - *Primi risultati del monitoraggio dei suoli agricoli del Comune di Scarlino*,

Maggio 2000-Maggio 2001. Contributo del dipartimento ARPAT di Grosseto allo studio delle anomalie da metalli, con particolare riferimento all'arsenico, nei terreni agricoli del Comune di Scarlino.

ISPRA (2011) - *Standard di qualità di sedimenti fluviali e lacuali*. - Rapporto 154/2011.http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/10491_rapporto_154_2011.pdf

Knight A.W. (1984) - *The evaluation of contaminated sediments employing selected benthic freshwater invertebrates*. Final Report of the USEPA Cooperative Agreement No. CR-808424. University of California, Davis CA. USEPA, Environmental Research Laboratory, Corvallis, OR.

Mac Donald D.D. (1994) - *Approach to the assessment of sediment quality in Florida coastal waters. Volume 1 - Development and evaluation of the sediment quality assessment guidelines*. Report prepared for Florida Department of Environmental Protection. Tallahassee, Florida 106 pp.

Mazzanti R. & Mazzei R. (2015) - *Le oscillazioni quaternarie del livello marino e la loro influenza sui territori della Maremma Toscana e delle isole*. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Edizioni Cantagalli, Siena, 96 pp.

Raccanelli S., Favotto M., Frangipane G. & Libralato S. (2008) - *Destino dei microinquinanti organici persistenti in Laguna di Venezia: dall'ambiente all'uomo attraverso il biota? La Rivista di Scienza dell'Alimentazione*, 1: 15-28.

Saragosa C. (1995) - *Follonica e il suo territorio. Memoria e rinascita di un paesaggio. Parte seconda*. Edizioni Leopoldo II, Follonica, 260 pp.

Van den Berg M., Birnbaum L.S., Denison M., De Vito M., Farland W., Feeley M., Fiedler H., Hakansson H., Hanberg A., Haws L., Rose M., Safe S., Schrenk D., Tohyama C., Tritscher A., Tuomisto J., Tysklind M., Walker N. & Peterson R.E. (2006) - *The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds*. Toxicological Sciences, 93(2): 223-241.

Gli eventi tettonici e climatici che hanno influenzato la costruzione della Pianura di Pisa e della Versilia

Renzo Mazzanti*, Roberto Mazzei*

* Museo di Storia Naturale, Piazza Giosuè Carducci 11A, 57016 Rosignano Marittimo (LI)

** Accademia dei Fisiocritici, Museo di Storia Naturale, Piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena
rbmazzei@gmail.com

Negli ultimi decenni si è sviluppata, tra dipartimenti scientifici e umanistici dell'Università di Pisa, ricercatori del CNR e rappresentanti di Enti ed Amministrazioni, una stretta collaborazione che ha portato alla pubblicazione di una serie di monografie sull'evoluzione geomorfologica di diverse località (Coltano, Vecchiano, San Giuliano, Cascina, Pietrasanta, Pisa) della pianura versiliese - pisana e del suo litorale. Questo materiale, in gran parte già utilizzato per la redazione della "Carta geomorfologica della Pianura di Pisa" a scala 1:50000, è stato ampliato e riorganizzato da più specialisti nella "Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei rilievi contermini" alla stessa scala ed inserito nel volume "La Pianura di Pisa e i rilievi contermini - La natura e la storia" uscito nelle Memorie della Società Geografica Italiana nel 1994. Nello stesso anno è stato pubblicato anche il contributo conoscitivo all'elaborazione del Piano di Bacino dal titolo "Evoluzione e la dinamica del litorale prospiciente i bacini dell'Arno e del Serchio e i problemi di erosione della costa". Invitiamo alla consultazione di questi lavori (citati in bibliografia), ritenuti d'importanza fondamentale, sia il lettore del presente articolo mosso dal "saperne di più", sia lo studioso che vuole portare un ulteriore contributo alla conoscenza della pianura considerata.

Introduzione

La pianura della Toscana nord-occidentale, compresa tra le Alpi Apuane e la riviera bagnata dal Mar Ligure, costituisce la Versilia. Se a nord essa è delimitata dal fiume di Seravezza, a sud sfuma in un'altra pianura più ampia, quella di Pisa (il confine tra le due pianure è indicato dall'antico forte del Motrone); quest'ultima, porzione terminale del Valdarno Inferiore, oltre che con la Versilia a nord e il Mar Ligure a ovest confina con i Monti Pisani a nord-est, con la Valdera ad est, con la Maremma Pisana e le Colline Livornesi a sud (Fig. 1). La pianura versiliese - pisana ha raggiunto l'attuale conformazione sub-triangolare e con pendenza media molto bassa (Fig. 2) attraverso l'apporto di materiali da parte dei corsi d'acqua, con particolare riferimento ai fiumi Arno, Serchio e Magra; tale

apporto, realizzatosi negli ultimi 4000 anni (Aguzzi *et al.*, 2005), è andato a ricoprire la successione dei depositi che dal Miocene Superiore aveva riempito le depressioni tettoniche del margine tirrenico della catena appenninica. Il maggior accumulo di sedimenti nell'angolo SE della pianura può essere legato anche ad altri fattori, come la presenza della dorsale della Meloria (oggi sommersa dal mare) nel tratto investito dal moto ondoso predominante di Libeccio (SW). Sia nelle fasi glaciali di stazionamento basso del livello marino quando corrispondeva ad un'area emersa (Mazzanti & Mazzei, 2016; Fig. 3), sia in quelle interglaciali quando rappresentava un bassofondo sommerso, la dorsale ha infatti influito sulla dispersione dei sedimenti verso il largo e sul loro parziale rientro verso costa (un contributo in questo senso è stato offerto anche dalla fitta prateria di *Posidonia* che la circonda).

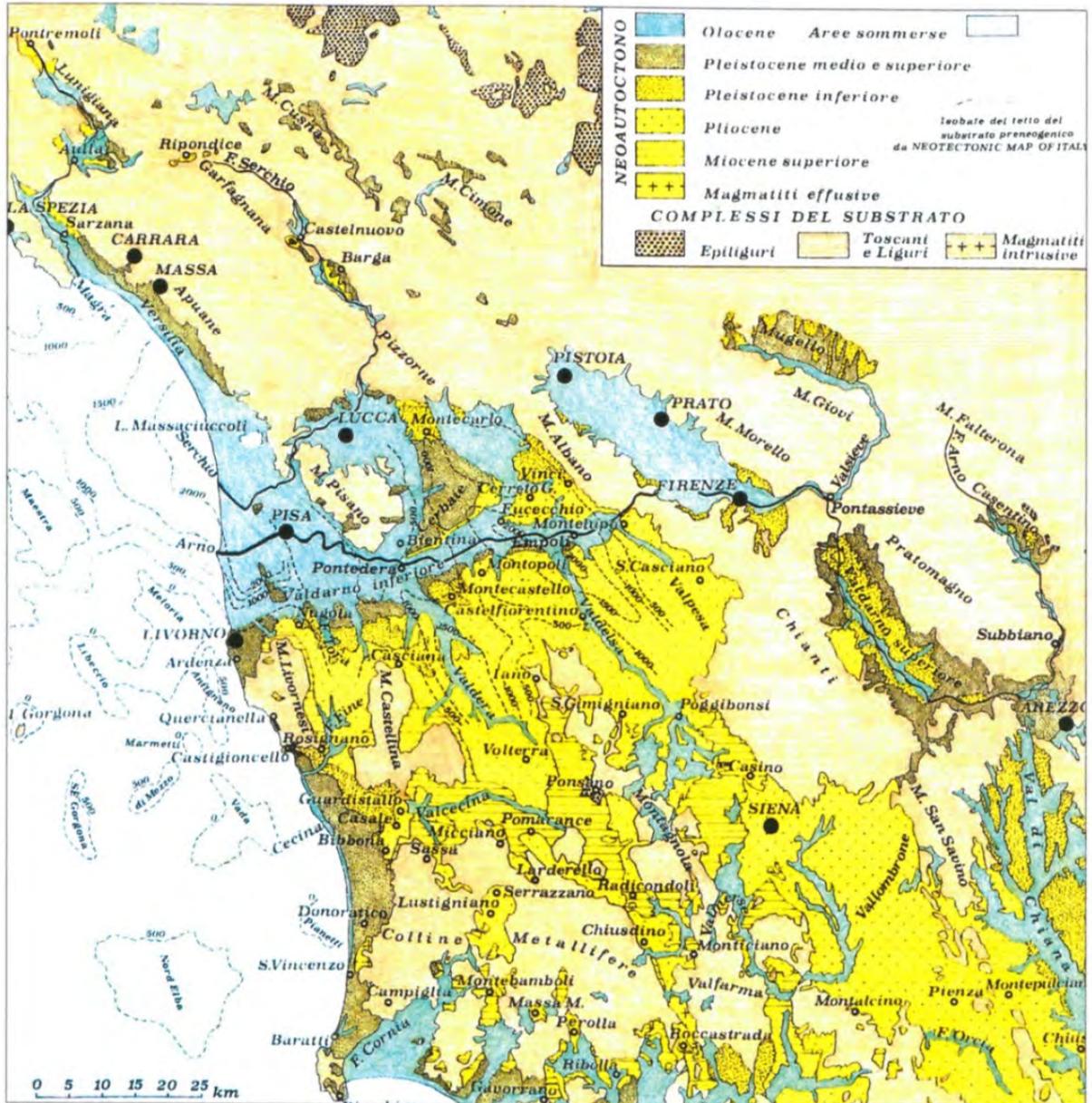


Fig. 1 - Carta geologica schematica di parte della Toscana centro-settentrionale in cui sono evidenziati i corsi attuali dei fiumi Magra, Serchio e Arno, nonché le unità stratigrafiche da essi attraversate. Nelle aree bacinali (quando possibile) e in quella marina prospiciente il litorale sono state tracciate le linee isobate del tetto del substrato pre-miocenico.

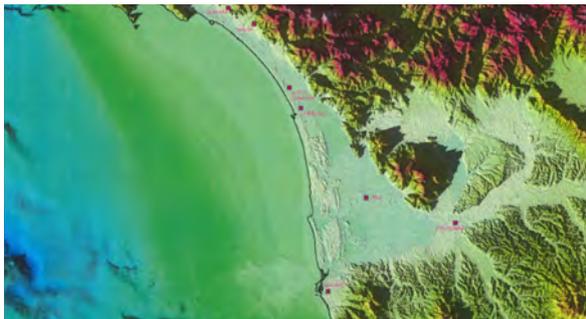


Fig. 2 - La pianura versiliese-pisana e il suo sviluppo a forma sub-triangolare. Da Mattei (2008) modificato.

Sperando di far cosa gradita ai lettori dedichiamo il presente articolo alla trattazione, pur in estrema sintesi, dei fattori che maggiormente hanno contribuito alla costruzione della pianura versiliese-pisana e del suo litorale da Bocca di Magra al Calambrone di Livorno: la tettonica da un lato, le oscillazioni del livello marino con il controllo dell'andamento dei fiumi dall'altro.

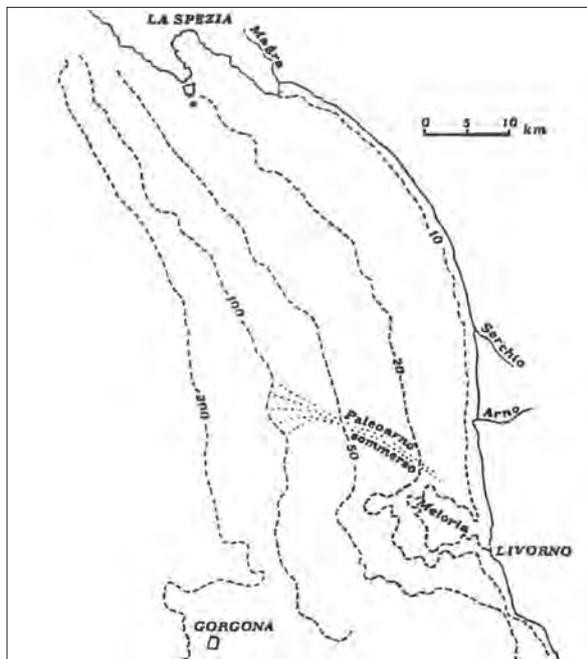


Fig. 3 - Carta batimetrica dell'area marina prospiciente il litorale tra La Spezia e Livorno. L'isobata di -110 m indica, con buona approssimazione, la linea di costa durante la fase più fredda dell'ultima glaciazione quando il corso del Paleoarno la raggiungeva e la Meloria era del tutto emersa (Segre, 1955).

La tettonica

Durante il suo tragitto verso il mare l'Arno attraversa sia bacini sprofondati che dorsali sollevate a direzione appenninica (cioè NW - SE; Fig. 4). Nasce infatti dal Monte Falterona (il sollevamento



Fig. 4 - I bacini neogenici e quaternari del versante appenninico tirrenico. In rigato: i bacini mio-pliocenici con depositi prevalentemente marini. In puntinato: i bacini pliocenici e pleistocenici con depositi continentali. 1 - principali fronti di accavallamento delle unità tettoniche appenniniche; 2 - faglie principali al bordo dei bacini; 3 - linee tettoniche trasversali; 4 - faglie minori al bordo dei bacini. Da Martini & Sagri (1993).

maggiore del crinale appenninico, di cui fa parte, risale a non prima del Pliocene Superiore), discende nel bacino del Casentino (ha iniziato ad impostarsi dal Pleistocene Inferiore), incide la dorsale del Pratomagno dando origine alla gola di Subbiano e penetra nel bacino del Valdarno superiore (la sua formazione è avvenuta a partire dal Pliocene Inferiore) percorrendolo fino a raggiungere quello di Firenze (si è costituito durante il Pleistocene Inferiore) per mezzo della gola di Pontassieve; dal bacino di Firenze il fiume, superata la dorsale del Monte Albano attraverso la gola della Gonfolina, raggiunge poi il bacino dei fiumi Pesa e Elsa (è sprofondato a partire dal Miocene Superiore) e, lambito il Monte Pisano (fa parte dell'antica e semi-demolita Dorsale Medio Toscana) in corrispondenza della soglia di Pontedera, entra nel bacino versiliese-pisano (si è originato nel Miocene Superiore).

I bacini di sprofondamento tettonico, sui quali si è impostato quello fluviale dell'Arno a seguito della regressione marina (Fig. 5) che nel Gelasiano (piano del Pleistocene Inferiore compreso tra 2,6 e 1,8 Ma; l'altro piano, il Calabriano, si estende da 1,8 e 0,78 Ma) ha portato all'emersione di gran parte della Toscana, si sono sviluppati da SW verso NE seguendo l'onda orogenetica appenninica (apertura del Tirreno e contemporanea migrazione antioraria del sistema catena-avanfossa-avanpa-

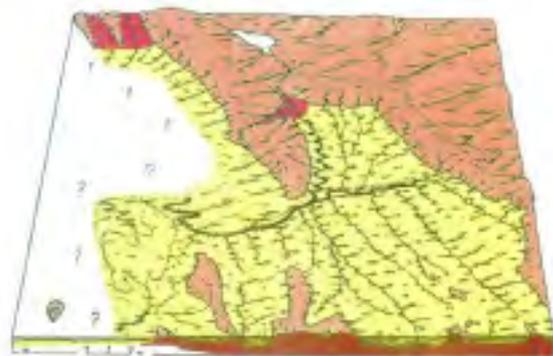


Fig. 5 - Come doveva presentarsi la Toscana centro-settentrionale durante il Gelasiano (Pleistocene Inferiore). In marrone più chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In marrone più scuro: presunte aree fluviali, lacustri e litorali. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore; In biancastro: aree marine, lagunari e lacustri. Da Federici & Mazzanti (1995).

ese; Fig. 6) realizzatasi tra il Miocene Superiore e il Pleistocene Inferiore (Elter *et al.*, 1975; Malinverno & Ryan, 1986; Sartori, 1989; Patacca *et al.*, 1990; Martini & Sagri, 1993; Costantini *et al.*, 1995). Di conseguenza, il crinale principale (e lo spartiacque) si è spostato sempre più verso oriente, cioè nello stesso senso dell'accrescimento del bacino fluviale ma in senso contrario allo scorrimento delle acque. Le particolari condizioni incontrate dal fiume nello sviluppo del suo percorso hanno favorito la formazione di ristagni d'acqua palustri e lacustri; così i bacini del Casentino, del Valdarno superiore e di Firenze, racchiusi rispettivamente tra l'Appennino e il Pratomagno, tra quest'ultimo e il Chianti, nonché tra il Monte Morello e il Monte Albano, sono stati occupati da laghi per buona parte del Quaternario. Da rilevare, per il secondo di questi bacini, la presenza di un più antico episodio lacustre risalente al Villafranchiano inferiore (Pliocene Superiore).

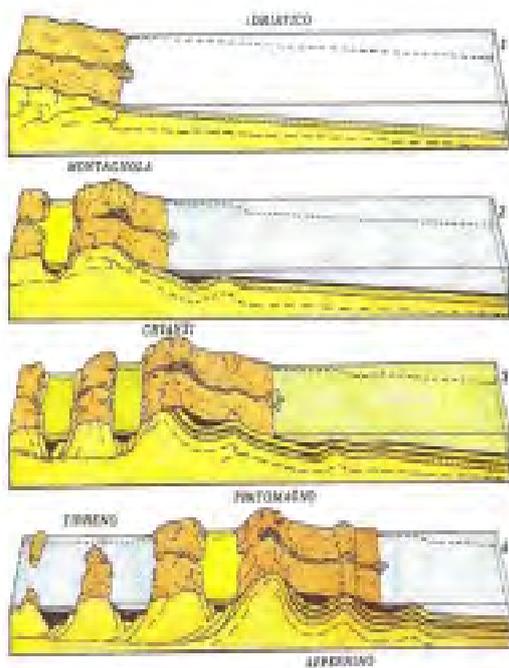


Fig. 6 - Migrazione dello spartiacque appenninico con uno scatto ad ogni formazione di un nuovo bacino di sprofondamento tettonico: 1 - situazione intorno a 8 milioni di anni fa (Tortoniano superiore, Miocene Superiore); 2 - situazione intorno a 7 milioni di anni fa (base Messiniano, Miocene Superiore); 3 - situazione intorno a 5.5 milioni di anni fa (Messiniano superiore, Miocene Superiore); 4 - situazione intorno a 5.0 milioni di anni fa (parte iniziale dello Zancleano, Pliocene Inferiore); 5 - situazione intorno a 500 mila anni fa (Pleistocene Medio). In marrone: dorsali. In verde chiaro: bacini lacustri. In verde azzurro: bacini di lago-mare con acque dolci o salmastre. In azzurro: aree marine. Da Mazzanti & Trevisan (1978) leggermente modificato.

Il fenomeno di sprofondamento ha richiamato la deposizione di successioni sedimentarie di maggior spessore (fino ad oltre 2000 m) nei bacini più occidentali (quelli vicini all'area di ampia distensione del Mar Tirreno e attivi fin dal Miocene Superiore) e minori (dell'ordine di alcune centinaia di metri) in quelli man mano più orientali (di Firenze, del Valdarno superiore e del Casentino).

L'evoluzione dei bacini tettonici a valle della gola della Gonfolina è da considerarsi più complessa di quella dei bacini a monte, sia perché sono sprofondati prima ospitando depositi lacustri già nel Turoliano (corrisponde all'intervallo Tortoniano superiore-Messiniano della cronostratigrafia marina), sia perché sono stati raggiunti da cicli sedimentari marini (Fig. 1). Riguardo a questi cicli, legati principalmente a tettonica, è da ricordare che: a) quello riferibile al Messiniano inferiore pre-evaporitico (Fig. 7), compreso grossomodo tra 7,2 e 6,0 Ma, è rappresentato solo ad occidente della Dorsale Medio Toscana (Bartoletti *et al.*, 1986; Bossio *et al.* 1978, 1981a, 1986, 1996; Esteban, 1978, 1979; Giannelli *et al.*, 1981 a, b) mentre quello successivo, abbracciante nell'insieme pressoché tutto il Pliocene (Mazzanti & Mazzei, 2015), è osservabile anche ad oriente della stessa dorsale (Fig. 8). In proposito si ricorda che a sud del Fiume Cecina il Pliocene è espresso, per parziali sollevamenti dell'area, da due cicli (si vedano, fra gli altri, Bossio *et al.*, 1991 a, b, c, 1992, 1993, 1994 a, b, 1998 a, b): uno appartenente allo Zancleano (all'incirca va da 5,3 a 3,5 Ma) e l'altro di pertinenza del Piacenziano (approssimativamente si estende da 3,5 a 2,6 Ma); l'ultimo, quello del Santerniano non basale-Emiliano (insieme all'altro sottopiano, il Siciliano, fanno parte del piano Calabriano), è documentabile (Fig. 9) nel Valdarno inferiore e nell'area di Castiglioncello - S. Vincenzo (Bartoletti *et al.*, 1986; Boschian *et al.*, 2006; Bossio *et al.*, 1981, 1986, 1993; Dall'Antonia *et al.*, 2004; Giannelli *et al.*, 1981 a, b, 1982; Mazzanti & Sanesi, 1987; Mazzanti & Mazzei, 2015).

Per quanto riguarda i cicli sedimentari quaternari più recenti dell'Emiliano, si rimanda al successivo capitolo dedicato al controllo climatico sulla deposizione. Qui si vuole evidenziare solo che, oltre a



Fig. 7 - Come doveva presentarsi la Toscana settentrionale durante il Messiniano inferiore (Miocene Superiore). In marrone più chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In marrone più scuro: presunte aree fluviali, lacustri e litorali. In biancastro: aree marine, lagunari e lacustri. Da Federici e Mazzanti (1995).

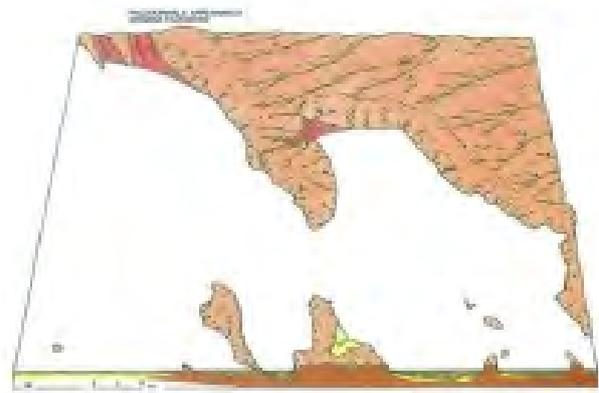


Fig. 8 - Come doveva presentarsi la Toscana settentrionale durante il Pliocene Inferiore. In marrone più chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In marrone più scuro: presunte aree fluviali, lacustri e litorali. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In biancastro: aree marine, lagunari e lacustri. Da Federici & Mazzanti (1995).

tale controllo, i sedimenti del Pleistocene Medio (si estende da 0,781 a 0,126 Ma) ne hanno subito un altro di tipo tettonico. Un esempio di avvenuto sollevamento è fornito dal Terrazzo I di Livorno e delle zone limitrofe (Colline livornesi, pisane e delle Cerbaie); questo, infatti, si è spinto fino ad oltre 100 m di quota (Lazzarotto *et al.*, 1990) dove il mare non può giungere neppure negli episodi interglaciali di stazionamento più alto (50-60 m secondo Fairbridge, 1966). Un esempio di avvenuto sprofondamento non trova invece riscontro nel sottosuolo della Pianura di Pisa (Figg. 10-11), probabilmente perché i sondaggi fino ad ora effettuati non hanno mai raggiunto profondità idonee allo scopo (la mancanza di conoscenza sull'argomento è stata già evidenziata da Della Rocca *et al.*, 1987).

Le profondità del tetto del substrato pre-miocenico, indicate nella figura 1, hanno permesso di ricostruire la conformazione a trugolo del bacino versiliese-pisano, con asse appenninico e fianchi marcati ad oriente e ad occidente rispettivamente dall'allineamento Alpi Apuane - Monti d'Oltre Serchio - Monte Pisano - Monti di Casciana e da quello Monti Livornesi - basso fondo marino/dorsale della Meloria - dorsale di Maestra. Le successioni stratigrafiche di questo bacino e di quello della Valdera sono nettamente differenziabili fino a tutto il Miocene Superiore (Bossio *et al.*, 1993) e ciò comporta l'indipendenza dei due bacini per la separazione opposta dalla soglia di Pontedera, la quale è rivelata



Fig. 9 - Come doveva presentarsi la Toscana settentrionale durante il Calabriano (Pleistocene Inferiore). In marrone più chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In marrone più scuro: presunte aree fluviali, lacustri e litorali. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In biancastro: aree marine, lagunari e lacustri. Da Federici & Mazzanti (1995).

dalla continuazione verso sud dell'alto tettonico del Monte Pisano al di sotto delle alluvioni dell'Arno; tale soglia sepolta collega oggi il Monte Pisano con i Monti di Casciana ma non con la struttura di Iano, come invece accadeva verosimilmente prima del Miocene Superiore sia pure attraverso una linea di dislocazione trasversale (Marroni *et al.*, 1990) quale la Livorno - Sillaro (Bortolotti, 1966). Tale linea, lungo la quale è avanscorso il segmento di Dorsale Medio Toscana rappresentato a Iano rispetto a quello del Monte Pisano, non risulta essere stata in attività durante le fasi tettoniche tardive; infatti, i sedimenti pliocenici che ricoprono la dorsale tra San Miniato e Iano non sono interessati da alcun tipo di frattura (Dominici *et al.*, 1994).

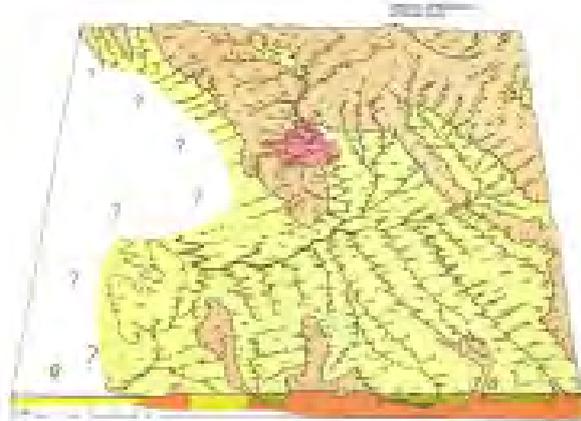


Fig. 10 - Ricostruzione paleogeografica del Valdarno inferiore e delle aree circostanti nell'intervallo parte alta del Pleistocene Inferiore - prima metà del Pleistocene Medio. In marrone chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In rosso: presunte aree fluviali e lacustri. In biancastro: aree marine. Da Federici & Mazzanti (1995).



Fig. 11 - Ricostruzione paleogeografica del Valdarno inferiore e delle aree circostanti nella seconda metà del Pleistocene Medio. La figura mostra la provenienza, dal Bacino della Garfagnana e dai monti del cosiddetto "anfiteatro lucchese", del materiale che ha dato origine ai depositi del Pleistocene Medio. In marrone chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In biancastro: aree marine. Da Federici & Mazzanti (1995).

I cambiamenti climatici

L'alternanza delle fasi glaciali e interglaciali, che ha caratterizzato in modo marcato il Quaternario, è stata ampiamente accertata solo dal momento in cui la Chimica degli isotopi stabili (del carbonio e soprattutto dell'ossigeno) ha preso campo nelle indagini paleoclimatiche (Emiliani, 1955, 1966; Shackleton & Opdyke, 1973). Attraverso le variazioni del rapporto fra i due isotopi dell'ossigeno (^{16}O e ^{18}O), ad esempio, si è potuto operare un controllo sull'andamento della temperatura delle acque oceaniche, laddove questo rapporto veniva fissato dal processo di calcificazione di alcuni microorganismi (Fig. 12). Il segnale isotopico si è dimostrato assai preciso ma soprattutto globalmente omogeneo, tanto da ritenerlo del tutto idoneo non solo per le ricostruzioni paleoclimatiche (Bradley, 1999) ma anche per effettuare correlazioni stratigrafiche ad ampio raggio. In alcuni periodi, a fasi di raffreddamento e di riscaldamento più consistenti (oscillazioni climatiche ad alta frequenza dovute alla periodicità dei parametri orbitali) corrispondono rispettivamente abbassamenti e innalzamenti del mare addirittura di decine di metri, per cui l'incidenza del sistema clima sui cicli sedimentari (e sulla paleogeografia) è da considerarsi un dato ampiamente accertato. È comunque da evidenziare che le conoscenze sull'argomento riguardano principalmente i depo-

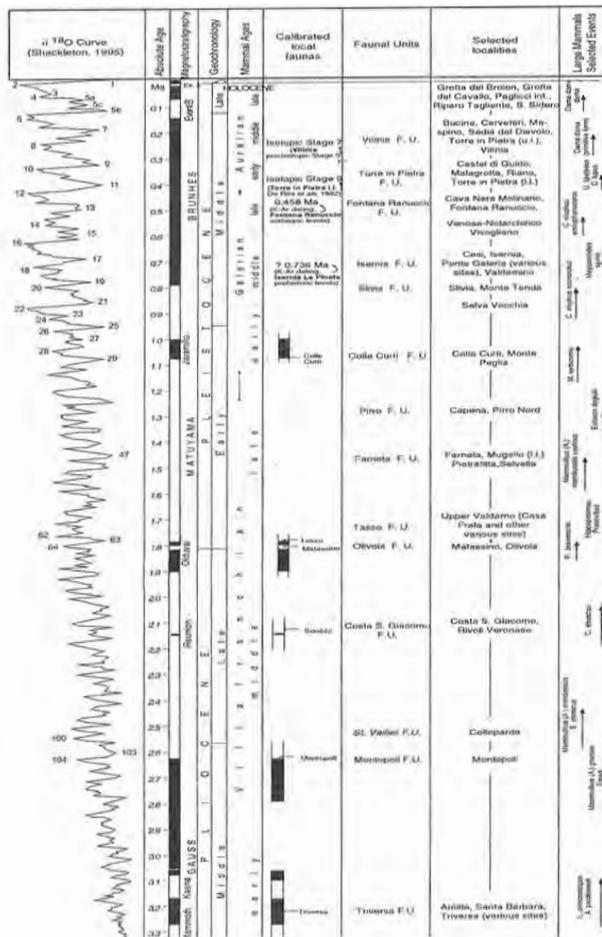


Fig. 12 - Il limite Pliocene-Pleistocene non è collocato in figura secondo le regole più recenti indicate dalla Commissione Internazionale di Stratigrafia; queste ultime, infatti, pongono il passaggio tra le due epoche a 2,588 milioni di anni fa. Su tali basi gli stadi isotopici del Quaternario marino risultano 103. Nella figura sono evidenziate anche le relazioni con le Unità Faunistiche della Serie continentale del Villafranchiano, del Galeriano e dell'Aureliano. Da Gliozzi et al. (1997).

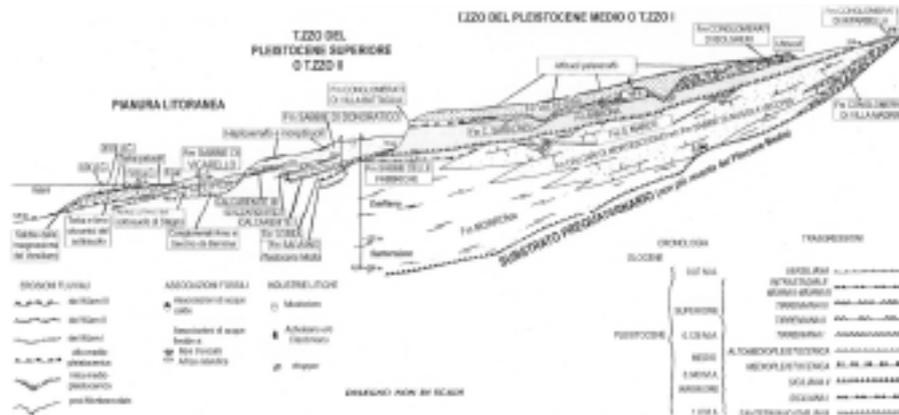


Fig. 13 - Schema stratigrafico del Pleistocene della Toscana costiera (da Boschian *et al.*, 2006) con le formazioni marine e continentali geograficamente più diffuse (nella figura le altezze sono fortemente esagerate rispetto alle lunghezze).

siti di origine marina (per quelli continentali o di transizione occorre procedere con metodologie diverse quali, ad esempio, la costruzione di diagrammi pollinici) e coprono intervalli tra l'Oligocene superiore (quando si è imposta la calotta glaciale antartica) e l'Attuale. Durante il Quaternario "glaciale" (ultimi 900000 anni circa) il segnale climatico è piuttosto forte, per cui è abbastanza facile accertarne l'influenza sui cicli; fra l'altro, con l'eccezione della prima parte del Pleistocene Inferiore, l'attività tettonica della fascia costiera toscana è da considerarsi più ridotta nel Pleistocene Medio e pressoché assente nel Pleistocene Superiore (da 126000 a 11700 anni fa). Al contrario, operare sui depositi più vecchi del Quaternario è difficoltoso in quanto il fattore climatico viene spesso ad intrecciarsi con quello tettonico e una loro discriminazione risulta spesso complicata (in ogni caso si parla di variazioni relative del livello marino). Per questi motivi in questo capitolo ci soffermeremo solo sui depositi quaternari (Fig. 13).

Se ci spostiamo dalla Pianura di Pisa verso sud arriviamo alla zona di Rosignano Solvay dove, al di sopra del ciclo Santeriano non basale-Emiliano già evidenziato, è stato riconosciuto da Bossio *et al.* (1986) un ciclo di età siciliana (Sabbie delle Fabbriche, Pleistocene Inferiore). Insieme ai successivi cicli marini costieri, questo è stato collegato ad una risalita del livello del mare per glacio-eustatismo (Boschian *et al.*, 2006; Mazzanti, 2008). In un recente lavoro sul Quaternario dell'intera Maremma toscana Mazzanti & Mazzei (2015) fanno presente che il ciclo siciliano potrebbe essere stato innescato a circa 1,08 Ma dalla fase calda del Marine

Isotope Stage 29 e che potrebbe essersi concluso a circa 1,06 Ma per l'incidenza della fase fredda del MIS 28. Tali autori, inoltre, precisano l'influenza climatica sul secondo ciclo siciliano (Formazione di Bibbona, Pleistocene Inferiore) e su tutti gli altri cicli della fascia costiera posteriori a 0,781 Ma sulla base del loro collegamento agli stadi isotopici di Shackleton (1995).

I depositi del Pleistocene Medio affiorano al bordo meridionale del bacino versiliese-pisano (Fig.14). Quelli di origine marina (Conglomerati di Villa Battaglia di Boschian *et al.*, 2006) si ritrovano ad est di Antignano (LI), sul Terrazzo della Fattoria Pianacce noto come Terrazzo I (Barsotti *et al.*, 1974; Federici & Mazzanti, 1995; Lazzarotto *et al.*, 1990; Mazzanti, 2008; Mazzanti & Mazzei, 2015); analoga posizione è tenuta anche da quelli in prevalenza di origine fluviale (Formazione di Casa Poggio ai Lecci), nelle Colline livornesi e pisane, oltre che alle Cerbaie (Lazzarotto *et al.*, 1990). Sulla base dei rapporti di lateralità tra i Conglomerati di Villa Battaglia e la Formazione di Casa Poggio ai Lecci e tenendo presente la datazione radiometrica delle cineriti intercalate al tetto della seconda unità (0,59 +/- 0,08 Ma secondo Arias *et al.*, 1980), Mazzanti & Mazzei (2015) hanno ritenuto verosimile collegare la deposizione conglomeratica marina alla fase di riscaldamento del MIS 15.

I sedimenti del Pleistocene Medio in facies dunare, palustre e/o lagunare retro-litoranea, di piana di esondazione fluviale, ecc. hanno rivelato situazioni climatiche da sub-aride a molto umide; le informazioni, tuttavia, risultano abbastanza frammentarie e sostanzialmente provenienti dagli studi sulla

cava di Casa Poggio ai Lecci (Barsotti *et al.*, 1974) e sull'area di Casa Bianca a sud di Collesalveti (Lazarotto *et al.*, 1990).

Anche gli affioramenti del Pleistocene Superiore (piano Tarentiano) sono ubicati al bordo meridionale del bacino versiliese-pisano e precisamente sul Terrazzo di Livorno indicato come Terrazzo II da Federici & Mazzanti (1995). I relativi depositi partecipano a due cicli sedimentari: il primo (Tirreniano I) è rappresentato da un livello di panchina con “ospiti caldi” (tra cui *Persististrombus latus*, più noto come *Strombus bubonius*, e *Conus testudinarius*) alla base, che passa verso l'alto ad un livello di sabbia e limo di origine continentale con associazioni polliniche denotanti un clima freddo - umido; il secondo (Tirreniano II) è costituito da un livello di panchina con fossili banali di ambiente litoraneo, che è seguito da un livello sabbioso rosso-arancio prevalentemente eolico (Sabbie di Donoratico) e con industrie del Musteriano. I rapporti tra Tirreniano I e II sono stati ben documentati da Barsotti *et al.* (1974) nella sezione del bacino di carenaggio di Torre del Fanale nel porto di Livorno per cui si rimanda a questi autori per ulteriori approfondimenti. Da notare che le spianate di abrasione marina alla base di questi cicli, inclinate di qualche grado verso mare, raggiungono rispettivamente la

quota di 15 m (Tirreniano I) e quella di 8 m (Tirreniano II). Merita ancora ricordare che lungo la costa del Golfo di Baratti (Piombino) è stato riconosciuto da Cortemiglia *et al.* (1983) un terzo episodio trasgressivo (Tirreniano III) e che Federici & Mazzanti (1995), Boschian *et al.* (2006), Mazzanti (2008) e Mazzanti & Mazzei (2015) hanno legato i tre cicli marini ai substadi isotopici 5e, 5c e 5a (i relativi picchi esprimono età rispettivamente di 126000, 100000 e 80000 anni) di Shackleton (1969), mentre hanno riferito le fasi intermedie continentali ai substadi 5d e 5b (i relativi picchi esprimono età rispettivamente di 110000 e 90000 anni) dello stesso autore. Va precisato, infine, che Mazzanti & Mazzei (2016) hanno messo in relazione la deposizione delle Sabbie di Donoratico (alla Buca dei Corvi, nei pressi di Castiglioncello, esse sormontano il livello di panchina con “ospiti caldi”) con il clima arido e freddo del MIS 4 (si estende approssimativamente da 70000 a 60000 anni fa). Nella figura 15 è rappresentata la ricostruzione paleogeografica della Toscana settentrionale durante l'Eutirreniano (Pleistocene Superiore); nella figura 16, invece, sono mostrate le oscillazioni del livello marino dal tetto del Pleistocene Medio all'Attuale.

Per avere un quadro generale sull'evoluzione della Pianura di Pisa si propone la lettura della sezione geologica che, attraverso i depositi di Coltano, unisce quelli olocenici (l'Olocene abbraccia gli ultimi 11700 anni) di Marina di Pisa con quelli pleistocenici dei terrazzi del Livornese (Fig. 17). Se consideriamo la giacitura degli strati tirreniani, sembra proprio che la Gronda dei Lupi (descritta a metà del XVIII secolo dal naturalista Giovanni Targioni Tozzetti e ripresa da Mazzanti, 2000), possa essere ad essi posteriore; se teniamo poi presente il ritrovamento nelle Sabbie di Coltano (Menchelli, 1984) e di Suese (Bacci *et al.*, 1939) di un industria musteriana (il Paleolitico medio è dato concludersi intorno a 35000 anni fa e, quindi, all'interno del MIS 3), tale scarpata fossile potrebbe addirittura essere collegata con il sensibile abbassamento del mare per l'avvento del MIS 4. Fra l'altro, intorno a 60 m di profondità nell'area di Coltano è stata documentata la presenza dei Conglomerati dell'Arno

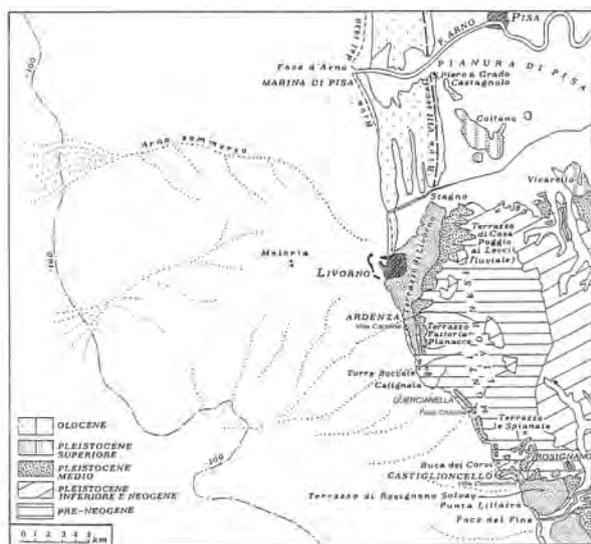


Fig. 14 - Carta geologica schematica del litorale tra le foci dei fiumi Arno e Fine. A sud-est di Livorno è osservabile il Terrazzo della Fattoria Pianacce (Terrazzo I). Da Galoppini *et al.* (1996).

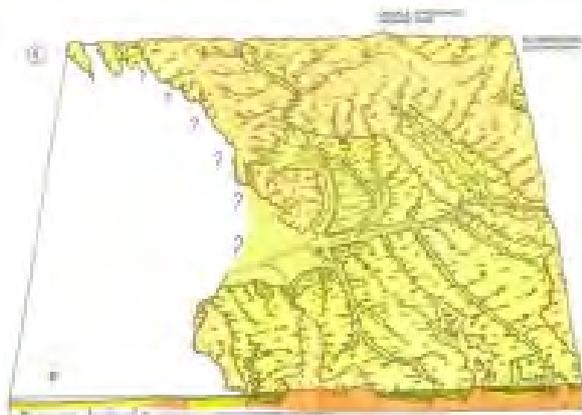


Fig. 15 - Come dovevano presentarsi la pianura versiliese-pisana (in verde chiaro) e le aree circostanti durante l'Eutirreniano (Pleistocene Superiore). In marrone chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In biancastro: aree marine. Da Federici & Mazzanti (1995).

e del Serchio da Bientina (denominazione introdotta da Segre, 1955) e ciò testimonia l'esistenza di una incisione fluviale di notevole entità. Su questi conglomerati si ricorda quanto riportato da Federici & Mazzanti (1995): "... corrispondono al livello conosciuto in modo migliore fra quelli del sottosuolo della Pianura di Pisa perché raggiunto da circa 2000 pozzi che attingono all'unica falda di una certa potenza (Fancelli et al., 1986). Dal sottosuolo di Bientina, dove compaiono intorno quota - 23, sono stati rintracciati con leggera pendenza fino a quello di Stagno, nel quale si trovano a circa quota - 57; sono caratterizzati dall'abbondanza di ciottoli di rocce del

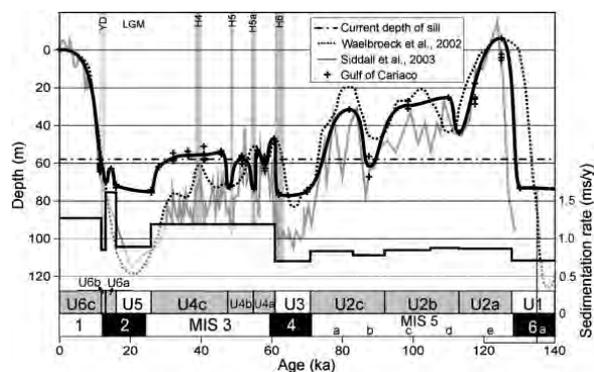


Fig. 16 -Variazioni climatiche degli ultimi 140000 anni e dati sulla velocità di sedimentazione e sulla profondità del mare.

Monte Pisano e sono stati attribuiti al WürmII da Trevisan e Tongiorgi (1953)."

Ritornando alla figura 17, dalla didascalia è possibile evincere che i citati Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina (l'area di provenienza del materiale che ha dato origine all'unità stratigrafica è mostrata nella ricostruzione paleogeografica di Fig. 18) sono seguiti verso l'alto dai Limi fluviali e palustri e dalle Sabbie eoliche di Vicarello. È del tutto verosimile che la deposizione di questi litotipi continentali sia stata controllata dalle oscillazioni del livello marino verificatesi durante il MIS 3 (Trevisan & Tongiorgi, 1953 riconducono i conglome-

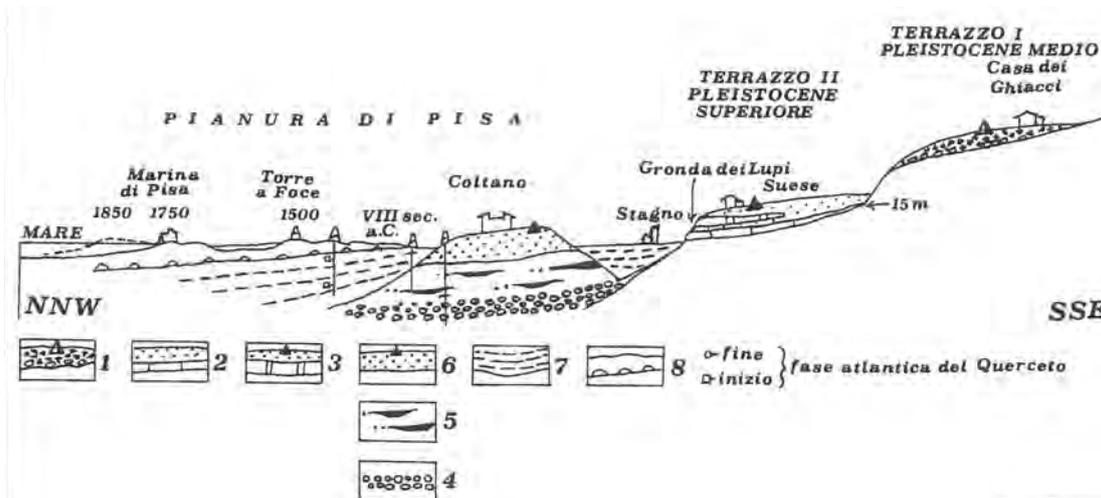


Fig. 17 - Sezione geologica schematica (non in scala) fra Marina di Pisa e l'interno di Livorno. 1 - Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci sul Terrazzo I (Pleistocene Medio) con industrie del Paleolitico inferiore. 2 - Panchina marina e sabbie eolico - colluviali sul Terrazzo II (Pleistocene Superiore, Tirreniano I) con industrie del Paleolitico medio. 3 - Panchina marina e sabbie eolico - colluviali sul Terrazzo II (Pleistocene Superiore, Tirreniano II) con industrie del Paleolitico medio. 4 - Conglomerati fluviali dell'Arno e del Serchio da Bientina. 5 - Limi e torbe palustri. 6 - Sabbie eoliche di Coltano o di Vicarello con industrie del Paleolitico medio. 7 - Limi e torbe lagunari, palustri e fluviali dell'Olocene. 8 - Sedimenti litoranei della trasgressione versiliana (Olocene). La linea tratteggiata presso Marina di Pisa indica il punto di maggiore sviluppo del litorale raggiunto intorno al 1850; l'arretramento iniziato subito dopo è ancora in atto. I dati introdotti per l'area di Coltano derivano da perforazioni. Da Federici & Mazzanti (1995) leggermente modificato.

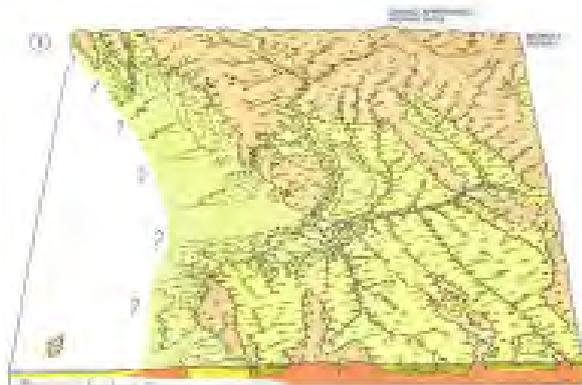


Fig. 18 - Come dovevano presentarsi la pianura versilese-pisana (in verde chiaro) ed i corsi dell'Arno e del Serchio durante le prime fasi del Würm. Dalla ricostruzione si evince l'area di provenienza dei materiali che hanno dato origine ai Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina. In marrone chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In biancastro: aree marine. Da Federici & Mazzanti (1995).

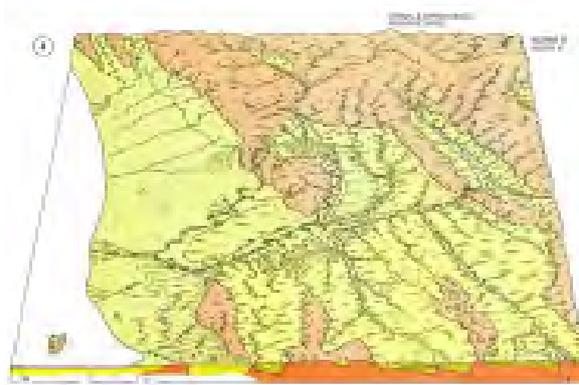


Fig. 19 - Come dovevano presentarsi la pianura versilese - pisana (in verde chiaro) e le aree circostanti durante le ultime fasi del Würm (intorno a 20000 anni fa) quando il Serchio era un affluente dell'Arno. In marrone chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In biancastro: aree marine. Da Federici & Mazzanti (1995).

rati basali della successione al Würm II; di conseguenza, i sedimenti limosi soprastanti non possono altro che essere connessi con la fase di risalita del mare immediatamente successiva), mentre l'apertura di solchi erosivi sulla superficie dell'unità sabbiosa sommitale sia dovuta all'impostarsi del MIS 2 (ultimo massimo glaciale intorno a 22000 anni fa). L'intensa fase di raffreddamento di questo stadio è suggerita anche dal ritrovamento, al largo della Meloria, di un alveo fluviale (Paleoarno) che si è spinto fino ad oltre 110 m di profondità (Segre, 1955; si veda anche in Mazzanti & Mazzei, 2016). Tale constatazione, fra l'altro, fa pensare ad uno spostamento verso ovest della linea di costa (Fig. 19) che, secondo Amorosi *et al.* (2008) e Sarti *et al.* (2008), potrebbe superare i 25 km da quella attuale.

Le perforazioni, da cui derivano principalmente i dati, hanno messo in evidenza una superficie di discontinuità tra la successione del Pleistocene Superiore e quella ancora continentale (fluviale e palustre) dell'Olocene. A testimoniarlo è l'esame pollinico (Galletti Fancelli, 1978) della componente limosa rinvenuta nella sequenza olocenica tra i 30 e i 20 m di profondità; esso ha infatti rivelato la Fase Atlantica del Querceto, la quale cade nell'intervallo di *optimum* climatico (tra 7500 e 4500 anni BP) ascrivibile al MIS 1.

A partire dai -13 e i -10 m di quota le stesse perforazioni hanno incontrato depositi marini di spiaggia appartenenti alla trasgressione versiliana. Per una più accurata comprensione di tale evento

si ricorda quanto ottenuto da Alessio *et al.* (1992) in uno studio su stalattiti e stalagmiti di grotte attualmente sommerse nel Tirreno centrale. Nella curva (Fig. 20), che esprime l'andamento del livello marino negli ultimi 40000 anni, gli autori hanno infatti evidenziato tre fasi di crescita denominate Versiliano I (tra 18000 e 6500 anni BP), Versiliano II (tra 6000 e 5000 anni BP) e Versiliano III (tra 3500 anni BP e oggi), cui si alternano due fasi di decrescita dette Intraversiliano I (tra 6500 e 6000 anni BP) e Intraversiliano II (tra 5000 e 3500 anni BP).

Dopo la fase fredda del MIS 2, che ha condotto alla forte oscillazione negativa del mare sopra evidenziata, quest'ultimo ha ripreso a crescere prima in condizioni più lente e più rapide di deglaciazione, poi con carattere di maggiore linearità. Durante la sua salita e il conseguente spostamento progressivo della linea di costa verso est, ha provocato il sovralluvionamento della pianura litoranea (espresso dai depositi argilloso-limosi ritrovati tra 30 e 20 m di profondità) e, sempre durante l'*optimum* climatico, ha raggiunto o leggermente superato l'allineamento delle sabbie pleistoceniche di Palazzetto, Castagnolo e Coltano (trasgressione versiliana, corrispondente al Versiliano II, documentata a partire dalla profondità di 13 m).

Un quadro dinamico della Pianura di Pisa è offerto, infine, dalle parole di Sarti (2012) che riportiamo di seguito: "La linea di costa continuò il suo spostamento verso est fino a circa 7500 anni fa posizionandosi ad oltre 7 km più ad est della sua

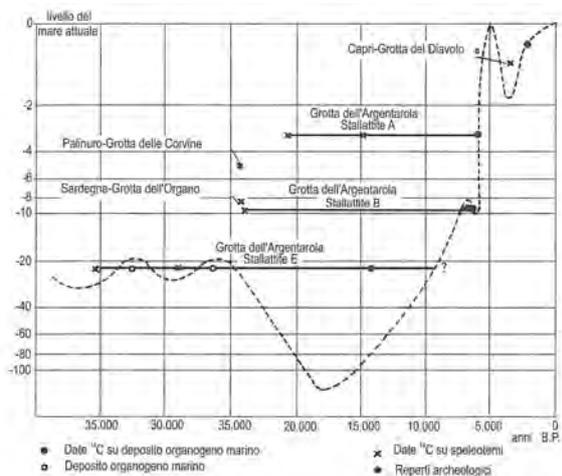


Fig. 20 - Oscillazioni del livello marino (Tirreno centrale) negli ultimi 40000 anni (da Alessio et al., 1992).

posizione attuale mentre alle sue spalle si sviluppava un'ampia area lagunare i cui depositi costituiti da argille plastiche (note come "pancone") che si trovano mediamente a 10 m di profondità nel sottosuolo della città di Pisa sono ben noti perché responsabili della famosa pendenza della torre di Pisa. Successivamente il trend si invertì sia per una diminuzione del tasso di risalita del livello del mare sia per l'aumento dell'apporto sedimentario quest'ultimo posto in relazione da alcuni autori (Pranzini, 1983) anche ad opere di deforestazione, determinando la progradazione della linea di costa e la costruzione della pianura di Pisa fino alla sua attuale conformazione, dove è ben evidente una porzione interna costituita da depositi fluviali di canale e di tracimazione legati alla dinamica recente dei fiumi Arno e Serchio ed una porzione costiera caratterizzata da un esteso sistema di cordoni litoranei sabbiosi che registrano, a partire da circa 3000 anni fa, le varie fasi di costruzione della pianura e conseguente avanzamento della linea di costa."

Oltre che nella Pianura di Pisa una successione alto pleistocenica-olocenica è rintracciabile in quelle aree della Bassa Versilia, una volta palustri o lacustri (il Lago di Massaciuccoli ne rappresenta un relitto), che verso mare sono chiuse da un complesso di dune e lidi (l'Alta Versilia è costituita, invece, da coni di deiezione olocenici poggianti verosimilmente su altri di età pleistocenica). Nella zona tra Viareggio e Massarosa i depositi sono stati attraversati da numerosi sondaggi volti alla ricerca

di sabbie silicee da sfruttare industrialmente. Sulla base dei dati ricavati da questi sondaggi, Federici & Mazzanti (1995) hanno ricostruito la sezione geologica della figura 21; qui di seguito riportiamo la descrizione della successione stratigrafica da loro fornita, a partire dalla quota di - 137 m raggiunta dal sondaggio più profondo:

- ghiaie e conglomerati, spesse almeno 30 m, passanti verso l'alto e verso mare ad argille cineree lacustri. Gli autori ricordano che per Federici (1987) lo spessore dei primi litotipi è indicativo di una fase climatica, con abbondanti precipitazioni, corrispondente ad un anaglaciale (Würm I; Fig. 18). Riguardo alla deposizione delle argille evidenziano, invece, che potrebbe essere stata favorita dall'impostarsi di un lago di sbarramento costiero;

- sabbie e ghiaie con gasteropodi marini. Questo livello, spesso pochi metri, documenta una trasgressione durante un breve interstadiale con clima temperato (Würm I-Würm II);

- argille lacustri e salmastre, potenti fino a 20 m, con molluschi d'acqua dolce. La loro deposizione corrisponde all'abbassamento del livello del mare legato al Würm II;

- sabbie con molluschi marini. Il livello, spesso pochi metri, è indicativo di un nuovo episodio trasgressivo (Würm II-Würm III); il clima temperato è testimoniato dalla presenza di semi di *Vitis vinifera* (Blanc et al., 1953);

- argille lacustri, dello spessore di circa 10 m, con torbe caratterizzate dall'associazione pollinica a *Pinus*, *Abies*, *Picea* e *Betulla* (Marchetti, 1934; Marchetti & Tongiorgi, 1936). L'analisi radiometrica (^{14}C) della torba, strappata in blocchi ed inglobata nella formazione soprastante, ha consentito datazioni di 18350 \pm 350 anni (Broecker et al., 1956) e 18800 \pm 400 anni (Alessio et al., 1964). La deposizione dell'unità è riconducibile all'oscillazione fredda di Würm III (Fig. 19);

- sabbie silicee, spesse oltre 30 m, con fauna marina a *Stramonita haemastoma*. L'analisi (^{14}C) effettuata su conchiglie prelevate alle quote di -47 m e -26 m ha fornito datazioni rispettivamente di 8940 \pm 273 anni (Ferrara et al., 1959) e 5646 \pm 200 anni (Ferrara et al., 1961); quella su legno di *Pi-*



Fig. 21 - Sezione geologica (non in scala) tra Viareggio e Massarosa, ricostruita sulla base di sondaggi. 1 - Depositi del Würm I; 2 - Depositi marini attribuiti all'interstadio tra Würm I e Würm II; 3 - Depositi del Würm II; 4 - Depositi marini attribuiti all'interstadio tra Würm II e Würm III; 5 - Depositi del Würm III; 6 - Depositi della trasgressione versiliana.

nus silvestris, ritrovato a quota -15 m, ha permesso invece una datazione di 5280 \pm 50 anni. Le sabbie corrispondono allo sviluppo della trasgressione versiliana.

I dati esaminati evidenziano, al di sotto dei depositi marini collegabili al Versiliano I (quota -47 m) e II (quote -26 m e -15 m), una chiara alternanza di fasi continentali e di fasi marine riconducibile alle oscillazioni che caratterizzano il MIS 3 fino al MIS 2. Tenendo presenti le indicazioni della figura 16, la deposizione dei due livelli marini potrebbe corrispondere alle variazioni positive che raggiungono i loro massimi intorno a 50000 e a 40000 anni fa, mentre quella dei tre livelli continentali potrebbe essere dovuta ai picchi di raffreddamento che risalgono rispettivamente a circa 55000, 45000 e 22000 anni fa. Se così fosse, al di sotto dei depositi conglomeratici alla base della successione dovrebbe trovarsi l'espressione sedimentaria marina di 60000 anni fa.

Merita ancora precisare che verso terra le sabbie silicee del Versiliano passano ai conglomerati dei coni di deiezione (la trasgressione versiliana si è spinta fino ai piedi dei Monti d'Oltre Serchio e fino al limite occidentale dell'Alta Versilia, dove ha modellato i coni pleistocenici in falesia), mentre verso mare sono chiuse da depositi di lido (vi sono stati trovati resti archeologici risalenti all'VIII secolo a.C.); da rilevare, inoltre, che questi ultimi depositi sbarrano verso l'interno le torbe del Lago di Massaciuccoli (con associazioni ad *Abies*, *Alnus* e *Picea* indicative della Fase Sub-Boreale, data iniziare intorno a 4000 anni fa), mentre verso mare fanno passaggio ai depositi di spiaggia e di duna con cui termina l'evoluzione del litorale.

Conclusioni

La pianura versiliese-pisana si è formata (Fig. 22) in corrispondenza del bacino di sprofondamento tettonico ad asse appenninico che ha forma di trugolo ed è delimitato dall'allineamento Alpi Apuane - Monti d'Oltre Serchio - Monte Pisano - Monti di Casciana ad oriente, da quello Monti Livornesi - basso fondo marino/dorsale della Meloria - dorsale di Maestra ad occidente. Fino a tutto il Miocene Superiore le successioni stratigrafiche del bacino versiliese-pisano hanno mostrato diversità rispetto a quelle della Valdera (Bossio *et al.*, 1993) per cui i due bacini dovevano essere separati da una soglia, quella di Pontedera, che collegava il Monte Pisano non solo con i Monti di Casciana ma anche con la struttura di Iano, sia pure attraverso la linea di dislocazione trasversale *Livorno-Sillaro* (Marroni *et al.*, 1990). Questa linea, comunque, non risulta interessata da alcuna attività durante le fasi tettoniche tardive (Dominici *et al.*, 1994). Analogamente a quello che è successo in altri bacini costieri, dalla parte superiore del Pleistocene Inferiore fino al Pleistocene Medio non hanno agito sulla deposizione solo gli eventi tettonici ma anche le oscillazioni del livello del mare legate ai cambiamenti climatici; dal Pleistocene Superiore, invece, sono le variazioni del clima ad essere maggiormente influenti.

L'evoluzione sedimentaria tardo pleistocenica e olocenica della pianura versiliese-pisana è offerta dai dati ottenuti tramite perforazioni. Nel sottosuolo, tra Marina di Pisa ed i terrazzi livornesi, è presente una sequenza continentale tardo pleistocenica più recente della Gronda dei Lupi (scarpata fossile realizzatasi per l'incidenza del MIS 4) e riferibile

a fasi della glaciazione würmiana. Considerando che i Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina sono riconducibili al Würm II (Trevisan & Tongiorgi, 1953) e quindi al picco freddo di circa 45000 anni fa, i depositi pleistocenici limosi soprastanti sono da mettere in relazione con la risalita del mare avvenuta intorno a 40000 anni fa. I depositi fluviali e lacustri al di sopra delle Sabbie eoliche di Vicarello sono caratterizzati dalla Fase Atlantica del Querceto (Galletti Fancelli, 1978), notoriamente appartenente all'intervallo di *optimum* climatico (tra 7500 e 4500 anni BP) per cui è accertata l'esistenza di una superficie di discontinuità tra la sequenza pleistocenica e quella olocenica. Nel sottosuolo dell'area tra Viareggio e Massarosa è documentata una successione costituita da depositi che esprimono fasi continentali più fredde (Würm I, II, III di Federici & Mazzanti, 1995) alternate a fasi marine più calde (Würm I-Würm II e Würm II-Würm III di Federici & Mazzanti, 1995). È abbastanza verosimile correlare la deposizione dei due livelli marini con i massimi di risalita del mare durante il MIS 3 (intorno a 50000 e a 40000 anni fa), mentre quella dei tre livelli continentali è da legarsi ai picchi di raffreddamento dello stesso stadio (verosimilmente a circa 55000, 45000 e 22000 anni fa).

Dall'ultimo massimo glaciale (intorno a 22000 anni fa, MIS 2) in poi, la crescita del mare si è realizzata in progressione e durante l'*optimum* climatico ha prodotto nel bacino una trasgressione, detta versiliana, la quale si è spinta ben oltre la linea di riva attuale. Se teniamo in considerazione i risultati di Alessio *et al.* (1996), il livello del mare è andato sostanzialmente a decrescere fino a circa 3500 anni BP (in corrispondenza si è impostato il Lago di Massaciuccoli) per poi crescere fino ad oggi (Fig. 23). Una lettura attenta delle variazioni della temperatura del mare dopo i 4500 anni ha permesso a Mazzanti & Mazzei (2015) di evidenziare, intorno a 3200, 2000 e 1000 anni BP, fasi di riscaldamento (a cui hanno verosimilmente corrisposto brevi spostamenti della linea di riva) nell'ambito del generale *trend* di raffreddamento che è culminato nella "piccola era glaciale" (tra la metà del XIV secolo e la metà del XIX secolo, con picchi intorno al 1650, al



Fig. 22 - Morfologia attuale della pianura versiliese-pisana. In marrone chiaro: rocce più antiche del Miocene Superiore. In giallo: sedimenti del Miocene Superiore, del Pliocene e del Pleistocene Inferiore. In avana: sedimenti del Pleistocene Medio e Superiore in terrazzi. In grigio puntinato: sedimenti olocenici di pianura. In celeste chiaro: il mare e le acque interne. Da Federici & Mazzanti (1995).

1770 e al 1850). A questo intervallo si fa risalire la formazione dei cordoni litorali più recenti, frequentati fin dall'VIII secolo a.C.; ed è proprio grazie alla presenza di questi cordoni che le zone lacustri e/o palustri più interne sono state in gran parte colmate dai fiumi Magra, Serchio e Arno.

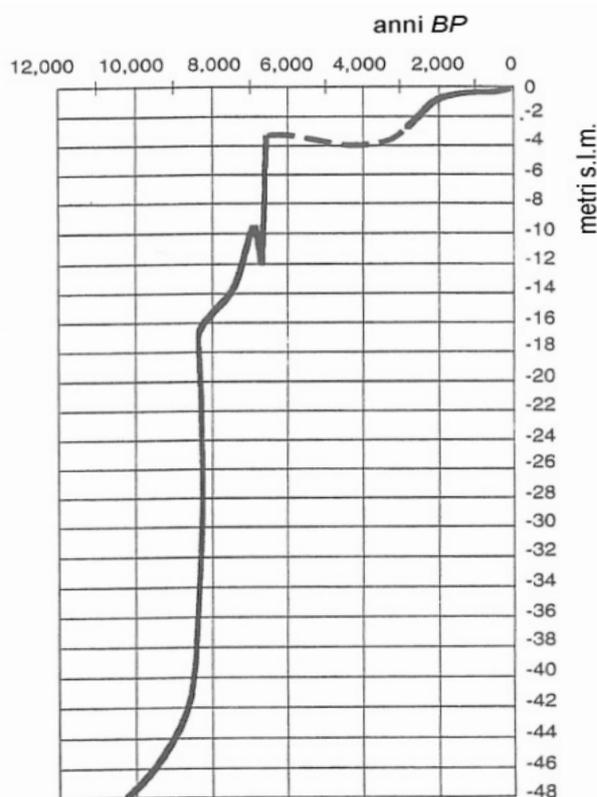


Fig. 23 - Curva di risalita del Mar Tirreno negli ultimi 10000 anni (Alessio *et al.*, 1996).

Testi citati

Aguzzi M., Amorosi A. & Sarti G. (2005) - *Stratigraphic architecture of Late Quaternary deposits in the lower Arno Plain (Tuscan, Italy)*. Geol. Romana, 38: 1-10.

Alessio M., Bella F. & Cortesi C. (1964) - *Carbon 14 dates II*. Radiocarbon, Università di Roma, 77 - 90.

Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Ferranti L. Improta S., Mandra L. & Proposito A. (1992) - *Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale*. Giorn. di Geologia, Ser. 3, 54: 165-193.

Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Improta S., Mandra L. & Preite M. (1996) - *La curva di risalita del mare Tirreno negli ultimi 43 Ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici*. Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, 52: 235-256.

Amorosi A., Sarti G., Rossi V. & Fontana V. (2008) - *Anatomy and sequence stratigraphy of the late Quaternary Arno valley fill (Tuscany, Italy)*. in: Amorosi A., Haq B.U., Sabato L. (Eds), *Advances in Application of Sequence Stratigraphy in Italy*. GeoActa Special Publication, 1: 55-66.

Arias C., Bigazzi G. & Bonadonna F.P. (1980) - *Studio cronologico e paleomagnetico di alcune serie sedimentarie dell'Italia Appenninica*. Contr. Carta Neotett. D'It. III P. E. G., Sottoprogetto Neotettonica, 356: 1441-1448.

Bacci A., Malatesta A. & Tongiorgi E. (1939) - *Di una formazione glaciale rissiana riscontrata a Livorno nei sedimenti della fase costruttiva del ciclo Tirreniano*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Proc. Verb., 48.

Barsotti G., Federici P.R., Giannelli L., Mazzanti R. & Salvatorini G. (1974) - *Studio del Quaternario livornese, con particolare riferimento alla stratigrafia ed alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale*. Mem. Soc. Geol. It., 13: 425-495.

Bartoletti E., Bossio A., Esteban M., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G., Sanesi G. & Squarci P. (1986) - *Studio geologico del territorio comunale di Rosignano Marittimo in relazione alla carta geologica alla scala 1: 25.000*. Suppl. 1, Quad. Mus. St. Nat., Livorno, 6: 33-127.

Blanc A.C. (1934) - *Formazioni pleistoceniche nel sottosuolo della Versilia*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Proc. Verb., 43: 129-143.

Blanc A.C., Settepassi E. & Tongiorgi E. (1953) - *Excursion au Lac de Massaciuccoli (Plain côtière de la Basse Versilia)*. IVème Congrès International pour l'étude du Quaternaire, Rome - Pise, 1953.

Bradley R.S. (1999) - *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*. International Geophysics Series 64, Academic Press, London.

Bortolotti V. (1966) - *La tettonica trasversale dell'Appennino I - La linea Livorno - Sillaro*. Boll. Soc. Geol. It., 85: 529-540.

Boschian G., Bossio A., Dall'Antonia B. & Mazzanti R. (2006) - *Il Quaternario della Toscana costiera*. Studi

costieri, 12: 3-207.

Bossio A., Bradley F., Esteban M., Giannelli L., Landini W., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G. (1981a) - *Alcuni aspetti del Miocene superiore del Bacino del Fiume*. IX Convegno Soc. Pal. It., Edit. Pacini, Pisa, 21-54.

Bossio A., Cerri R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1996) - *La successione neogenica dell'area della Spicchiaiola-Pignano (Prov. Pisa e Siena)*. Boll. Soc. Geol. It., 115: 393-422.

Bossio A., Costantini A., Foresi L.M., Mazzei R., Monteforti B., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1992) - *Notizie preliminari sul Pliocene del Bacino del Medio Ombro-ne e della zona di Roccastrada*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., 98: 259-269.

Bossio A., Costantini A., Foresi L.M., Mazzanti R., Mazzei R., Monteforti B., Salvatorini G., Sandrelli F. & Testa G. (1994 a) - *Note preliminari sul neoautoctono dell'area di Sassa (settore SW del Bacino di Volterra), Province di Pisa e Livorno*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 1994/1, Camerino, 33-43.

Bossio A., Costantini A., Lazzarotto A., Foresi L.M., Mazzanti R., Mazzei R., Pascucci V., Salvatorini G., Sandrelli F. & Terzuoli A. (1998 a) - *Neogene - Quaternary sedimentary evolution in the western side of the Northern Apennines (Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., 52: 513-525.

Bossio A., Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1993) - *Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del Neoautoctono toscano*. Mem.Soc. Geol. It., 49: 17-98.

Bossio A., Esteban M., Giannelli G., Longinelli A., Mazzanti R., Mazzei R., Ricci Lucchi F. & Salvatorini G. (1978) - *Some aspects of the Upper Miocene in Tuscany*. Messinian Seminar n. 4, Edit. Pacini, Pisa.

Bossio A., Foresi L.M., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G. (1998 b) - *Note micro paleontologiche sulla successione miocenica del Torrente Morra e su quella pliocenica del bacino dei fiumi Tora e Fiume (province di Livorno e Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Ser. A, 104: 85-134.

Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Menesini E., Nencini C., Ughi R. & Salvatorini G. (1981 b) - *Nuove osservazioni sulla stratigrafia delle formazioni plioceniche e pleistoceniche di Casciana Terme*. Atti IX Convegno Soc. Paleont. It., Firenze-Pisa 3-8 settembre 1981, 91-120.

Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Nencini C., Pasquonucci M., Salvatorini G. & Sanesi G. (1986 a) - *Schéma stratigraphique et morphologique du Pleistocène et de l'Olocène de la Toscane cotière a l'aide de la Paléontologie, de la Paléontologie, de la Pédologie, de l'Archéologie et de la Cartographie pré - géodésique*. L'Anthropologie, 90.

Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G. (1986 b) - *Analisi micropaleontologiche delle formazioni mioceniche, plioceniche e pleistoceniche dell'area del Comune di Rosignano M.mo*. Suppl. 1, Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno, 6: 129-170.

Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1991 a) - *Il Pliocene di Pomarance (Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 98: 1-98.

Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. &

- Sandrelli F. (1991 b) - *Il Pliocene di S. Dalmazio-Anqua e Radicondoli-Belforte (Siena e Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 98: 99-191.
- Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1991 c) - *Il Pliocene del Bacino di Chiusdino (Siena)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 98: 193-250.
- Bossio A., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sandrelli F. (1994 b) - *Il Bacino di Volterra: notizie preliminari sull'evoluzione della sua area centro meridionale durante il Pliocene*. Studi Geologici Camerti. Vol. Spec. 1994/1, Camerino, 19-31.
- Broecker W.S., Kulp J.L. & Tucek C.S. (1956) - *Lamont Natural Radiocarbon Measurements III*. Science, 124: 154-165.
- Ceccarelli M.L., Mazzanti R. & Morelli P. (1994) - *Il contributo delle fonti storiche alla conoscenza della Geomorfologia*. In: Mazzanti R. (ed.), *La pianura di Pisa e i rilievi contermini. La natura e la storia*, 50: 401-429.
- Cortemiglia G.C., Mazzanti R. & Parea G.C. (1983) - *Geomorfologia della Baia di Baratti (Livorno-Toscana) e della sua spiaggia*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 6: 148-173.
- Costantini A., Lazzarotto A., Maccantelli M., Mazzanti R., Sandrelli F. & Tavarnelli E. (1995) - *Geologia della Provincia di Livorno a Sud del Fiume Cecina*. Suppl. 2, Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno, 13: 1-164.
- Dall'Antonia B., Ciampalini A., Michelucci I., Zanchetta G., Bossio A. & Bonadonna F.P. (2004) - *New insights on the Quaternary stratigraphy of the Livorno area as deduced by boreholes investigations*. Boll. Soc. Paleont. It., 43: 155-172.
- Della Rocca R., Mazzanti R. & Pranzini E. (1987) - *Studio geomorfologico della Pianura di Pisa (Toscana)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10: 56-84.
- Dominici S., Mazzanti R. & Nencini C. (1994) - *Carta degli elementi geologico - morfologici e storici dei dintorni di S. Miniato (PI)*. Amministrazione Provinciale di Pisa.
- Elter P., Giglia G., Tongiorgi M. & Trevisan L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to Present) evolution on the Northern Apennines*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 65: 3-18.
- Emiliani C. (1955) - *Pleistocene temperatures*. Journ. Geology, 63: 538-578.
- Emiliani C. (1966) - *Paleotemperature analysis of Caribbean cores, P 6304-8 and P6304-9 and a generalized temperature curve for the past 425,000 years*. Journ. Geology, 74:109-126.
- Esteban M. (1978) - *Significance of the Upper Miocene reefs in the Eastern Mediterranean*. Messinian Seminar n. 4, Roma.
- Esteban M. (1979) - *Significance of the Upper Miocene coral reefs of the Western Mediterranean*. Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., 29.
- Fairbridge R.W. (1966) - *Encyclopedia of Oceanography*. Reinhold, New York, 1021 pp.
- Federici P.R. (1987) - *Stato attuale delle conoscenze geomorfologiche del bacino di Massaciuccoli in Versilia (Toscana)*. In: *Il bacino del Massaciuccoli III*, Consorzio Idraulico, Viareggio, 27-52.
- Federici P.R. & Mazzanti R. (1995) - *Note sulle pianure costiere della Toscana*. In: *Aspetto fisico e problemi ambientali delle pianure italiane*. Mem. Soc. Geogr. It., 53: 165-270.
- Ferrara G., Fornaca Rinaldi G. & Tongiorgi E. (1961) - *Carbon 14 dating in Pisa II*. Radiocarbon, 99-104.
- Ferrara G., Reinharz M. & Tongiorgi E. (1959) - *Carbon 14 dating in Pisa I*. Radiocarbon, 25-32.
- Galletti Fancelli M.L. (1978) - *Sulla subsidenza della Pianura Pisana. Analisi polliniche di sedimenti quaternari della pianura costiera tra Pisa e Livorno*. Boll. Soc. Geol. It., 97: 197-245.
- Galoppini R., Letta C., Mazzanti R., Taddei M., Tessari R. & Varesini L. (1994) - *Possibilità di misura di antichi livelli del mare nel litorale tra le foci dei fiumi Arno e Fine in Toscana*. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, 52: 279-292.
- Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G. (1981 a) - *Breve quadro stratigrafico e paleogeografico del Neogene e del Quaternario del Valdarno Inferiore, della Val di Fine e della Val di Cecina*. Atti IX Convegno Soc. Paleont. It., Firenze-Pisa 3-8 settembre 1981, 9-19.
- Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G. (1981 b) - *I sedimenti del Pliocene e del Pleistocene inferiore della zona compresa fra Riparbella e Bibbona (province di Pisa e Livorno)*. Boll. Soc. Geol. It., 100: 41-56.
- Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. & Sanesi G. (1982) - *Nuove osservazioni sul Quaternario di Livorno*. In: Stoduti P., *Studi del territorio livornese, Archeologia, Antropologia, Geologia*, Livorno, 30-61.
- Gliozzi E., Abbazzi L., Argenti P., Azzaroli A., Caloi L., Capasso Barbato L., Di Stefano G., Esu D., Ficcarello G., Girotti O., Kotzakis T., Masini F., Mazza P., Mezzabotta C., Palombo M.R., Petronio C., Rook L., Sala B., Sardella R., Zanalda E. & Torre D. (1997) - *Biochronology of selected Mammals, Molluscs and Ostracods from the Middle Pliocene to the Late Pleistocene in Italy. The state of the art*. Riv. It. Paleont. e Strat., 103: 369-388.
- Lazzarotto A., Mazzanti R. & Nencini C. (1990) - *Geologia e morfologia dei Comuni di Livorno e Collesalvetti*. Suppl. 2, Quad. Mus. Storia Nat. Livorno, 11: 1-85.
- Malinverno A. & Ryan W.B.E. (1986) - *Extension in the Tyrrhenian sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. Tectonics, 5: 227-245.
- Marchetti M. (1934) - *Una torba glaciale nel Lago di Massaciuccoli*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Proc. Verb., 143-150.
- Marchetti M. & Tongiorgi E. (1936) - *Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria Marittima.VII. Una torba glaciale del Lago di Massaciuccoli (Versilia)*. Nuovo Giorn. Bot. It., 43: 872-884.
- Marroni M. (1990) - *Le ofioliti di Poggio Caprone nei Monti Livornesi*. Suppl. 2, Quad. Mus. St. Nat. Livorno, 11: 87-93.
- Martini I.P. & Sagri M. (1993) - *Tectono-sedimentary characteristics of Late Miocene-Quaternary extensional*

basins of the Northern Apennines, Italy. *Earth Science Reviews*, 34: 197-233.

Mattei R. (2008) - *Analisi dei depositi Tardo Quaternari del bacino di Viareggio: dalla creazione di una banca dati georeferenziata alla realizzazione di un modello stratigrafico - deposizionale*. Pisa, tesi di laurea.

Mazzanti R. (2000) - *Geomorfologia del bacino versiliese - pisano con particolare riferimento alla "Gronda dei Lupi", scarpata fossile che separa le Colline Livornesi, con i loro terrazzi eustatici, dalla pianura alluvionale pisana*. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A*, 165-189.

Mazzanti R. (2008) - *Elementi per la storia del clima in Toscana dal Miocene all'Olocene*. Edit. Felici, Ghezzano (PI), 5-140.

Mazzanti R. & Mazzei R. (2015) - *Le oscillazioni quaternarie del livello marino e la loro influenza sui territori della Maremma Toscana e delle isole*. Dipartimento di Scienze FTA dell'Università di Siena, Edizioni Cantagalli, Siena, 96 pp.

Mazzanti R. & Mazzei R. (2016) - *Sulle secche della Meloria*. Codice Armonico 2016, Edizioni ETS, 272-287.

Mazzanti R. & Sanesi G. (1987) - *Geologia e morfologia della bassa Val di Cecina*. Suppl. 1, Quad. Mus. Storia Nat. Livorno, 7: 1-27.

Mazzanti R. & Trevisan L. (1978) - *Evoluzione della rete idrografica nell'Appennino centro-settentrionale*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 1: 55-62.

Menchelli S. (1984) - *Contributo allo studio del territorio pisano: Coltano e l'area dell'ex Padule di Stagno*. *Studi Class. Orient.*, 255-270.

Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990) - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 45: 425-451.

Pranzini E. (1983) - *Studi di geomorfologia costiera. IX - L'erosione del delta dell'Arno*. Quad. Museo Storia Nat. Livorno, 4: 7-18.

Sarti G., Redini M., Fontana V. & Giacomelli S. (2008) - *Ricostruzione dell'architettura deposizionale dei depositi tardo quaternari del sottosuolo della pianura di Pisa attraverso l'utilizzo di sistemi di modellazione 3d*. In: *Stato del territorio e delle risorse naturali in Toscana*, Firenze, 107-116.

Sarti G. (2012) - *La macro-area: la pianura di Pisa*. In: *Civita M.V. & Redini M. (eds.), Tutela della costa pisana dall'ingressione marina*, Comune di Pisa, 1: 63-95.

Sartori R. (1989) - *Evoluzione neogenico-recente del bacino tirrenico e i suoi rapporti con la geologia delle aree circostanti*. *Giorn. Geol.*, 51(3): 1-30.

Segre A.G. (1955) - *Nota sulla idrografia continentale e marina*. Note Illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala di 1:100000 II ediz., F° 111-Livorno., 20-26.

Shackleton N.J. (1969) - *The last interglacial in the marine and terrestrial records*. *Proc. Roy. Soc.*, 174: 135-154.

Shackleton N.J., Backman J., Ziunerman H., Kent D.W., Hall M.A., Roberts D.G., Schnitker D., Baldauf J.G., Desprairies A., Homrighausen R., Huddlestun P., Keene J.B., Kaldenback A., Krumsiek K.A.D., Morton A.C., Murray J.W. & Westberg Smith J. (1984) - *Oxygen isotope calibration of the onset of ice rafting and history of glaciation in the North Atlantic region*. *Nature*, 307: 620-623.

Shackleton N.J., Hall M.A. & Pate D. (1995) - *Pliocene stable isotope stratigraphy of Site 846*. *Proceedings of the ODP, Scientific Results*, 138: 337-355.

Trevisan L. & Tongiorgi E. (1953) - *Le acque del sottosuolo della pianura pisana*. *La Provincia Pisana*, 9-10.

Il punto della situazione



Foto di Giovanni Bencini

Sull'altra specie del genere *Homo*

Roberto Fondi

Via Europa 73, Loc. Carpineto, 53018 Sovicille (SI)
ro.fondi@gmail.com

“È dal confronto con i Neandertaliani che possiamo ricavare
l'esatta misura della nostra unicità nel mondo naturale”

Ian Tattersall

La natura bi-specifica del genere umano come ipotesi di lavoro

Nel n° 11 di *Etrurianatura* ho esposto i motivi per i quali *Homo habilis sensu lato* (cioè *H. habilis* Leakey *et al.*, 1964 + *H. rudolfensis* Alekseyev, 1978), come pure il più recentemente scoperto *H. naledi* Berger *et al.*, 2015, devono essere esclusi dal nostro genere di appartenenza per essere invece accostati o assegnati senz'altro al complesso australopitecino. Se quei motivi sono validi, ne consegue che l'ipodigma paleontologico (cioè l'insieme totale dei documenti fossili) relativo al genere *Homo* va limitato unicamente alle forme finora classificate con i nomi specifici di *H. sapiens* Linnaeus, 1758; *H. neanderthalensis* King, 1864; *H. erectus* (Dubois, 1894); *H. heidelbergensis* Schotensack, 1908; *H. ergaster* Groves & Mazak, 1975; *H. antecessor* Bermúdez de Castro, 1997; *H. floresiensis* Brown *et al.*, 2004. Si presenta dunque il problema di stabilire se le forme ora elencate corrispondano effettivamente ad altrettante *bonae species* naturali, oppure se e in che numero debbano essere interpretate quali mere espressioni di rango sottospecifico di un medesimo taxon specifico.

Come è scontato aspettarsi somiglianze e differenze sia tra gli individui che tra le popolazioni di ciascuna specie attuale, altrettanto scontato sarà aspettarsi che sia tra gli individui che tra le popolazioni di ciascuna cronospecie o specie fossile siano esistite, lungo l'intero *continuum* spazio temporale della sua esistenza, somiglianze e differenze legate a “norme di reazione” delle proprie intrinseche potenzialità genetiche nei confronti del continuo variare delle condizioni esterne; e ciò a maggior ragione quando soltanto si ricordino le ripetute e spesso drammatiche fluttuazioni climatiche e variazioni ambientali che hanno caratterizzato l'epoca pleistocenica. Fatta questa premessa, se decidiamo di attenerci al criterio noto come “rasoio di Occam” – che consiste nell'adottare “la più parsimoniosa” tra le soluzioni possibili – diviene obbligatorio porre l'ipotesi che il genere umano consista di non più di due cronospecie, e cioè:

- la nostra, le cui prime testimonianze inequivocabili rimontano, per quanto finora ne sappiamo, a non più di circa 100.000 anni fa¹; e
- un'altra molto più antica, in quanto risalente ad almeno 1.780.000 anni or sono, della cui esisten-

¹ “Gli studi più recenti mostrano che i caratteri anatomici che distinguono la nostra morfologia cranica da quella dei nostri antenati ‘arcaici’ si affermano definitivamente tra 100.000 e 35.000 anni fa, quindi più di recente rispetto al periodo in cui era stato fissato l'emergere della nostra specie in Africa. Allo stesso tempo crani più antichi – come quello scoperto in Marocco a Jebel Irhoud e datato a 300.000 anni fa, i crani di Omo Kibish (195.000 anni fa) e Herto (160.000 anni fa) e il cranio di Florisbad (datato a 260.000 anni fa) scoperto in Sudafrica – mostrano caratteri arcaici associati a caratteri moderni” (d'Errico & Chikhi, 2019: 44).

za fu data per la prima volta la prova nel 1829 in Belgio ad Engis presso Liegi da Philippe-Charles Schmerling, ma la cui formale istituzione tassonomica fu attuata soltanto 35 anni dopo in Irlanda da William King, professore di anatomia presso il Queen's College di Galway.

Viene qui ipotizzato, in altre parole, che gli ipodigmi delle forme *ergaster*, *erectus*, *heidelbergensis*, *antecessor*, *neanderthalensis* e *floresiensis*, considerandone le reciproche somiglianze – per chi scrive talmente evidenti da far passare in secondo piano le differenze che pure tra di esse esistono – si riferiscano ad altrettante espressioni del medesimo ta-

xon specifico (Fig. 1): taxon al quale pertanto, in base alla legge di priorità nomenclaturale vigente in Tassonomia, spetta la denominazione di *Homo neanderthalensis* King, 1864.

Per contro, mi affianco a paleoantropologi come Tattersall (2017) nel ritenere che le differenze fra il suddetto taxon e quello relativo alla nostra specie siano troppo ben marcate, tanto sul piano dell'anatomia quanto soprattutto delle potenzialità cognitivo-simboliche, per poterlo considerare anche soltanto nella sua forma neandertaliana *sensu stricto* quale nostra semplice sottospecie. Per dirla in altro modo, ritengo che sia errato parlare di *Homo sapiens neanderthalensis*.

Malgrado la proposta di istituire *H. neanderthalensis* come specie a sé stante abbia più di un secolo e mezzo, va fatto notare che per lungo tempo tale proposta è stata condivisa solo da un ristretto numero di specialisti, e che soltanto negli anni '90 del secolo scorso vi è stato un aumento della tendenza a considerare improbabile che da una forma così specializzata come la neandertaliana abbia potuto evolversi la morfologia dei tipi umani attuali. Negli ultimi tempi, comunque, sembra che questa tendenza sia tornata a rendersi meno chiara in un contesto di dati – includente apporti di natura paleogenetica che i limiti consentiti a questo articolo non permettono di analizzare e discutere – apparentemente sempre più intricato; tanto che appena pochi anni fa Anna Meldolesi, *science writer* di *Le Scienze*, ha ritenuto di dover così riassumere il punto della situazione: “Se pensate che il quadro sia molto più chiaro di un decennio fa vi sbagliate. Anzi, forse è vero il contrario. I ricercatori si dividono sull'interpretazione dei dati genetici e sulla stratigrafia dei siti chiave, mentre le nuove tecnologie per la datazione al carbonio dei reperti fossili rimettono in discussione l'intera cronologia.” (2013, p. 62).

In ogni caso, prima ancora di soffermarmi sulle caratteristiche distintive dell'altra specie umana, ritengo necessario ripercorrerne sia pure in modo sommario i principali cambiamenti di natura microevolutiva, cioè puramente adattativa, via via manifestatisi nel corso della sua esistenza.

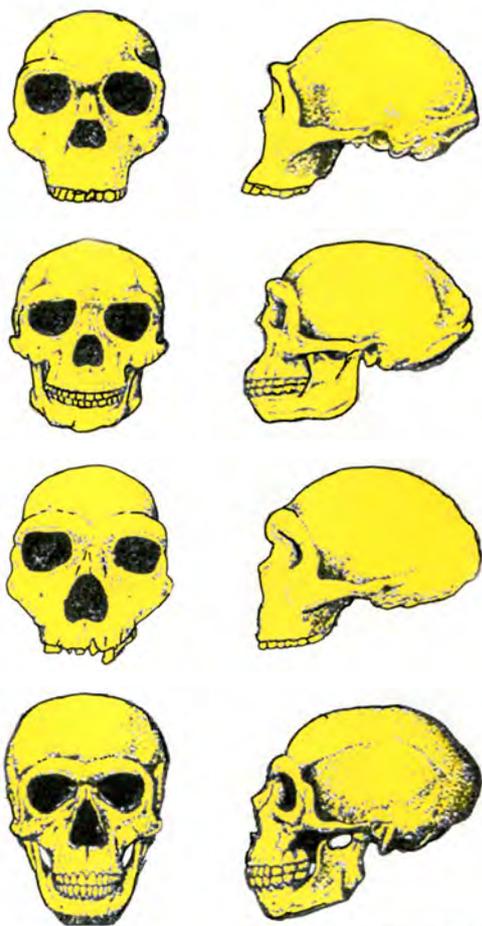


Fig. 1 - L'ipotesi della bi-specificità del genere *Homo* considera l'altra specie come includente tutte le forme umane non assegnabili ad *H. sapiens*. Pertanto gli esempi riportati nella figura e disposti dall'alto in basso in ordine di antichità decrescente – KNM-ER 3733, Zhoukoudian (ricostr.), Petralona e La Ferrassie (ric.) – sono qui classificati rispettivamente come *H. neanderthalensis ergaster*, *H. neanderthalensis erectus*, *H. neanderthalensis heidelbergensis* e *H. neanderthalensis neanderthalensis* (disegno dello scrivente).

Percorso microevolutivo dell'altra specie umana

IL MORFOTIPO PIÙ ANTICO: *ERECTUS* – Tutto il materiale paleontologico concernente le più antiche testimonianze dell'altra specie, riferibile in via indicativa al Pleistocene Inferiore e proveniente sia dall'Africa che dall'Eurasia (Tab. 1), si presenta relativamente omogeneo e può essere classificato come *H. neanderthalensis erectus s.l.* (cioè *H. n.*

ergaster + *H. n. erectus s.s.*, rispettivamente per le forme africane e per quelle eurasiatiche). Ufficialmente, la differenziazione tassonomica di *erectus* si basa sull'olotipo o esemplare-tipo, Trinil 2, e sui reperti di Sangiran, morfologicamente fungenti come da ponte di collegamento tra le forme più antiche africane e le più recenti asiatiche. Ma la più spettacolare fra le sue testimonianze rimane KNM-WT 15000, lo scheletro quasi completo di un individuo di 8 anni (il “ragazzo di Nariokotome”) alto 1,63 m

Reperti fossili	Nazione di provenienza	Capacità cranica (cm ³)	Antichità (anni or sono)
KNM-ER 3733	Kenya	848	1.780.000
Dmanisi D 2280	Georgia	780	1.700.000
Dmanisi D 2282	Georgia	600 - 700	1.700.000
Dmanisi D 2700	Georgia	650	1.700.000
KNM-WT 15000*	Kenya	909	1.600.000
KNM-ER 3883	Kenya	850	1.600.000
KNM-ER 42700	Kenya	691	1.550.000
Sangiran 4	Indonesia	880 – 908	1.600.000 – 1.200.000
Mojokerto I*	Indonesia	915 – 965	1.800.000 – 1.000.000
Olduvai OH-9	Tanzania	1.000 – 1.067	1.400.000
Olduvai OH-12	Tanzania	700 – 800	1.400.000
Sangiran 2	Indonesia	813 – 815	1.400.000 – 800.000
Buia UA 31	Eritrea	800 – 1.200	1.000.000
Trinil 1	Indonesia	850	1.200.000 – 800.000
Trinil 2	Indonesia	850 – 953	1.200.000 – 800.000
Sangiran 12	Indonesia	915 – 1.059	1.200.000 – 800.000
Sangiran 17	Indonesia	1.004 – 1.029	1.200.000 – 800.000
Sangiran 10	Indonesia	855 – 975	1.000.000 – 800.000
Daka BOU-VP-2/66	Eritrea	995	1.000.000 – 800.000
Gongwangling 1	Cina	755 – 905	1.150.000
Yunxian EV 9002	Cina	1.130 - 1.150	800.000
Zhoukoudian 2 D1	Cina	1.030	600.000
Zhoukoudian 3 E1	Cina	915	600.000
Zhoukoudian 6 I1	Cina	825 – 875	600.000
Zhoukoudian 10 L1	Cina	1.225	600.000
Zhoukoudian 11 L2	Cina	1.015	600.000
Zhoukoudian 12 L3	Cina	1.030	600.000
Zhoukoudian 5 H3	Cina	1.140	400.000
Hexian 1	Cina	1.025	400.000
Nanjing 1	Cina	1.000	350.000
Ngandong 1	Indonesia	1.035 – 1.172	300.000 – 50.000
Ngandong 5	Indonesia	1.251	300.000 – 50.000
Ngandong 6	Indonesia	1.251 - 1.316	300.000 – 50.000
Ngandong 7	Indonesia	1.013 - 1.189	300.000 – 50.000
Ngandong 9	Indonesia	1.135	300.000 – 50.000
Ngandong 10	Indonesia	1.135	300.000 – 50.000
Ngandong 11	Indonesia	1.055 – 1.231	300.000 – 50.000
Ngandong 12	Indonesia	1.060 - 1.095	300.000 – 50.000
Sambungmachan 1	Indonesia	1.050 – 1.100	300.000 – 50.000
Flores LB1	Indonesia	380	190.000 – 50.000

* esemplare giovanile

Tab. 1 - Provenienza, capacità cranica e datazione (in serie di valori decrescente) di reperti risalenti al Pleistocene Inferiore (fino ai resti di Sangiran) e Medio (tutti gli altri) e generalmente classificati come *Homo erectus s.l.* Come nelle tabelle successive, le cifre - da accogliere sempre con la dovuta elasticità - sono riprese dalla letteratura scientifica, principalmente come riportate da D'Amore, Frederic & Vancata (2014).

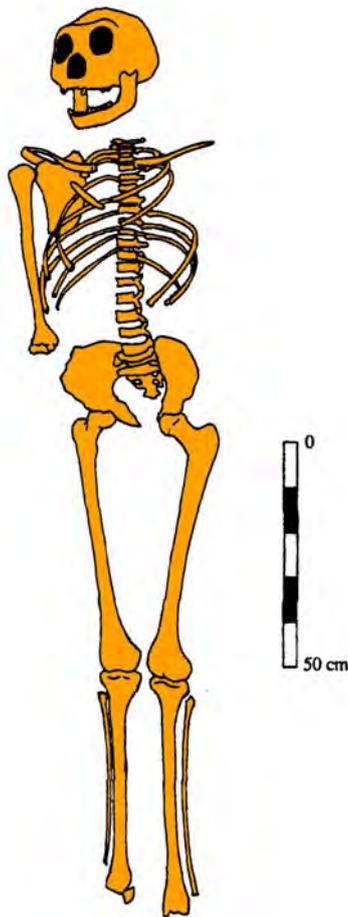


Fig. 2 - Scheletro del "Ragazzo di Nariokotome", KNM-WT 15000 (da Klein, 1989).

e dal peso stimabile in circa 50 kg (Fig. 2), morto 1,6-1,5 milioni di anni or sono sulla sponda occidentale del Lago Turkana. Ed è significativo che risalcano più o meno alla stessa età – cioè 1,5-1,4 milioni di anni or sono – quelle che potrebbero essere le più antiche tracce di uso del fuoco, rinvenute sempre in Kenya (a Koobi Fora, a Olorgesailie e a Chesowanja presso il Lago Baringo) e consistenti in grumi di argilla rossa combusta associati ad industria olduvaiana.

I crani del morfotipo *erectus* (Figg. 2-3) hanno tutti la volta bassa e la maggiore larghezza situata a livello parietale inferiore e in corrispondenza della parte superiore della faccia. Gli strati corticali interno ed esterno della volta cranica hanno forte spessore. Al di sopra delle orbite vi è un *torus* continuo e massiccio posteriormente seguito da un sol-

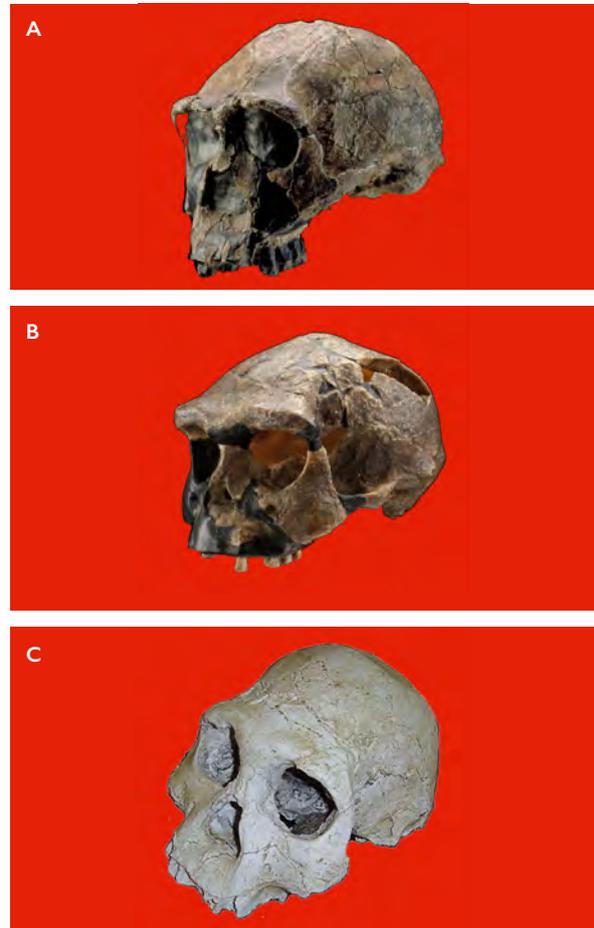


Fig. 3 - Tre esempi di *Homo neanderthalensis erectus*, di provenienza (A) africana (Kenya: KNM-ER 3733), (B) asiatica (Indonesia: Sangiran 17, spec.) e (C) caucasica (Georgia: Dmanisi D 2700). Immagini riprese con modifica dai siti humanorigins.si.edu e [ccschmitt.github.io](https://github.com/ccschmitt).

co; vi sono poi, più o meno accentuate, una carena sagittale e due carene temporali orientate verso i processi mastoidei. La regione occipitale ha un'angolazione molto acuta e delimitata da un solco ben marcato. La capacità cranica è risultata incrementarsi nel corso del tempo da mediamente 800 a 1.000 cm³ (Fig. 4). Rispetto ai fenotipi successivi sono rilevabili altre differenze: le dimensioni del palato, ad esempio, si mantengono simili, però il corpo mandibolare, privo di un mento ben marcato, è più robusto; le corone dentarie sono generalmente più grandi, mentre il terzo molare è di solito più piccolo o delle stesse dimensioni del secondo; le radici dei premolari tendono ad essere più complicate. A livello postcraniale, sebbene tutti gli elementi denotino una stazione abitualmente eretta e una deambulazione bipede ad ampio raggio, esistono



Fig. 4 - Grafico dei valori di capacità cranica relativi ai reperti fossili elencati nella tabella 1. Nel morfotipo *erectus* è evidente un incremento sia pure zigzagante di tale capacità nel corso del tempo. La forte riduzione di volume dell'ultimo reperto si riferisce alla forma pigmea dell'isola indonesiana di Flores, qui interpretata come equiparabile a quella di vari altri mammiferi componenti le associazioni fossili insulari.

alcune differenze morfologiche rispetto alla nostra specie. Lo strato corticale esterno dello scheletro postcraniale è in genere più spesso e le ossa degli arti, oltre ad avere diafisi più robuste, presentano a livello dei femori e delle tibie un appiattimento antero-posteriore relativamente più accentuato.

IL MORFOTIPO MEDIO-PLEISTOCENICO: HEIDELBERGENSIS – A partire da circa mezzo milione di anni fa, in tutto il Vecchio Mondo si registra nella documentazione fossile dell'altra specie un notevole incremento del suo campo di variabilità non scollegato da ampie caratterizzazioni regionali (Tab. 2, Figg. 5-6). Nei reperti provenienti dall'Africa, dal Vicino Oriente e dall'Asia sud-himalayana ed orientale le variazioni, pur mantenendosi sostanzialmente nell'ambito della tipica morfologia *erectus*, possono consistere o in un incremento della capacità cranica accompagnato ad una riduzione della faccia, oppure ad un maggiore sviluppo della faccia accompagnato ad una riduzione della capacità cranica: tant'è che possono dare impressioni più o meno accentuate di "modernità" anche a seconda della norma o punto di vista dal quale sono osservati. In tutta l'Europa eccettuata la Scandinavia e nel Vicino e Medio Oriente fino all'Uzbekistan e agli Altaj, le variazioni dell'altra specie si presentano invece canalizzate, in maniera dapprima più irregolare e poi sempre meglio definita, in direzione del fenotipo neandertaliano *sensu stricto* tipico del Pleistocene Superiore.

Se in un primo momento i reperti di cui si tratta

sono stati considerati quasi tutti come sottospecie di *H. erectus*, ben presto si è dovuto riconoscere che le loro somiglianze con quest'ultimo erano soltanto parziali ed incostanti, tanto che per molti anni si è preferito assegnarli ad un gruppo convenzionalmente definito come "*H. sapiens* arcaico". Ricerche più recenti, comunque, hanno dimostrato che, per quanto riguarda la morfologia del cranio, dei denti e del resto dello scheletro, gli esemplari assegnati a tale gruppo erano distinti da noi, per cui si è ritenuto opportuno attribuirli ad una specie a sé stante denominata *H. heidelbergensis*. La volta cranica, frequentemente più piccola di quella degli esseri umani attuali, ha sempre una struttura più robusta, grandi arcate sopraorbitarie (Fig. 5) e una regione occipitale ispessita; mentre le ossa degli arti continuano a distinguersi dalle nostre per le diafisi più spesse e gli indici di robustezza più elevati.

I MORFOTIPI PIÙ RECENTI: NEANDERTALIANI E DENISOVIANI – Com'è noto, durante il Pleistocene Medio e Superiore l'emisfero boreale è stato teatro di ripetuti avanzamenti e ritirate da parte di imponenti coperture glaciali; mentre però nel Nordamerica l'unica rilevante catena montuosa (le Montagne Rocciose) decorre in senso N-S, per cui la flora e la fauna hanno potuto evitare di far fronte ai deterioramenti climatici migrando regolarmente nello stesso senso senza incontrare ostacoli, nell'Eurasia è avvenuto il contrario: a causa della disposizione generalmente in senso W-E delle barriere montuose (i Pirenei, le Alpi, i Carpazi, il Caucaso, l'Hi-

Reperti fossili	Nazione di provenienza	Capacità cranica (cm ³)	Antichità (anni or sono)
Ceprano I	Italia	1.160 – 1.210	800.000
Bodo I	Etiopia	1.250 – 1.350	600.000
Saldanha I	R. Sudafricana	1.200 – 1.250	550.000
Salé I	Marocco	880	400.000
Arago 21/47/Sw	Francia	1.100 – 1.200	400.000
Petralona I	Grecia	1.190 – 1.230	400.000
Bilzingsleben I	Germania	1.100	370.000
Jebel Irhoud I	Marocco	1.305	350 – 280.000
Jebel Irhoud 2	Marocco	1.450	350 – 280.000
Atapuerca SH 4	Spagna	1.390	300.000
Atapuerca SH 5	Spagna	1.125	300.000
Atapuerca SH 6	Spagna	1.220	300.000
Swanscombe I	Gran Bretagna	1.250 – 1.325	300.000
Ndutu I	Tanzania	1.070 – 1.120	300.000
Kabwe (Broken Hill) I	Zambia	1.280 – 1.325	300.000
Narmada (Hathnora) I	India	1.200 – 1.260	300.000
Dali I	Cina	1.120 – 1.200	300.000
Steinheim I	Germania	1.070 – 1.175	300.000
Ileret ER 3884	Kenya	1.350 – 1.450	270.000
Florisbad I	R. Sudafricana	1.280	260.000
Eliye Springs I	Kenya	1.210	300 – 200.000
Eyasi I	Tanzania	1.260 – 1.310	200.000
Vertésöllös I	Ungheria	1.110	200.000
Vertésöllös 2	Ungheria	1.200 – 1.400	200.000
Ehringsdorf 9	Germania	1.400 - 1.450	200.000
Reilingen I	Germania	1.380 - 1.430	200.000
Jinnu Shan I	Cina	1.290 - 1.390	200.000
Omo Kibish I	Etiopia	1.350	195.000
Omo Kibish 2	Etiopia	1.435	195.000
Biache-St.-Vaast I	Francia	1.100 - 1.300	180.000
Herto I	Etiopia	1.450	160.000
Fontéchevade 2	Francia	1.300 - 1.400	150.000
Singa I	Sudan	1.550	150.000
Ngaloba LH 18	Tanzania	1.367	130.000
Qafzeh 6	Israele	1.535	120 - 90.000
Qafzeh 9	Israele	1.531	120 - 90.000
Qafzeh 11	Israele	1.280	120 - 90.000
Skhul 4	Israele	1.555	115.000
Skhul 5	Israele	1.520	115.000
Skhul 6	Israele	1.585	115.000

Tab. 2 - Provenienza, capacità cranica e antichità di reperti risalenti al Pleistocene Medio e generalmente classificati come *Homo heidelbergensis* o "*Homo sapiens arcaico*".

malaya), le comunità biologiche hanno dovuto subire l'impatto di tali deterioramenti fino spesso a veder soccombere molti dei loro componenti. La tipica morfologia dei Neandertaliani *sensu stricto* (Tab. 3; Figg. 7-8) così come quella di altre specie di mammiferi ad essi contemporanei, può perciò essere interpretata come una "norma di reazione" geograficamente ben localizzata ai suddetti drastici mutamenti ambientali. Per limitare la dispersione di calore, l'altra specie umana può aver reagito assumendo, al medesimo modo degli attuali

abitanti delle regioni artiche, una statura ridotta (in media 1,65 m) accompagnata ad una corporatura tarchiata, con cassa toracica a forma di botte ed arti con avambracci e gambe accorciati. D'altra parte, testimonianze inconfutabili di una "fase neandertaliana" pancontinentale, cioè diffusa anche in Africa e nel resto dell'Asia (ove l'altra specie in parte aveva mantenuto la morfologia arcaica del tipo *erectus* ed in parte era rappresentata dai Denisoviani, la cui struttura anatomica rimane a tutt'oggi ignota), non sono mai state trovate.



Fig. 5 - Esempi di *Homo neanderthalensis heidelbergensis* di provenienza (A) africana (Etiopia: Bodo), (B) asiatica (Cina: Dali), (C) europea (Grecia: Petralona), (D) ancora africana (Marocco: Jebel Irhoud 1) e (E) vicino-orientale (Israele: Skhul 5). Immagini riprese con modifica dal sito humanorigins.si.edu.

Nell'altra specie la tipica morfologia neanderthaliana comincia a rendersi riconoscibile, sia pure in modo parziale e sporadico, nei reperti portati alla luce in siti quali Bilzingsleben, Atapuerca, Steinheim e Swanscombe, databili a circa 370-300.000 anni fa e quindi a prima della penultima glaciazione (la Riss/Saale: 300-130.000 anni fa); essa, in ogni caso, diviene stabile e generalizzata solo a partire dall'ultimo interglaciale (il Riss-Würm/E-

miano: 130-115.000 anni fa), fino a scomparire del tutto durante la fase iniziale dell'ultima glaciazione (Würm/Weichsel: 110-12.000 anni fa).

Dalle recenti ridatazioni di una quarantina di siti neandertaliani distribuiti tra la Penisola Iberica e il Caucaso, ridatazioni che sono state effettuate dall'inglese Tom Higham e dalla sua équipe, risulta che l'Europa è stata la roccaforte dei Neandertaliani da circa 250.000 fino a circa 41-39.000 anni fa, allorché subirono una decrescita di popolazione che li frammentò a macchia di leopardo. E fu appunto durante questa fase di declino, intorno ai 40.000 anni fa, che *Homo sapiens* fece il suo ingresso in Europa.

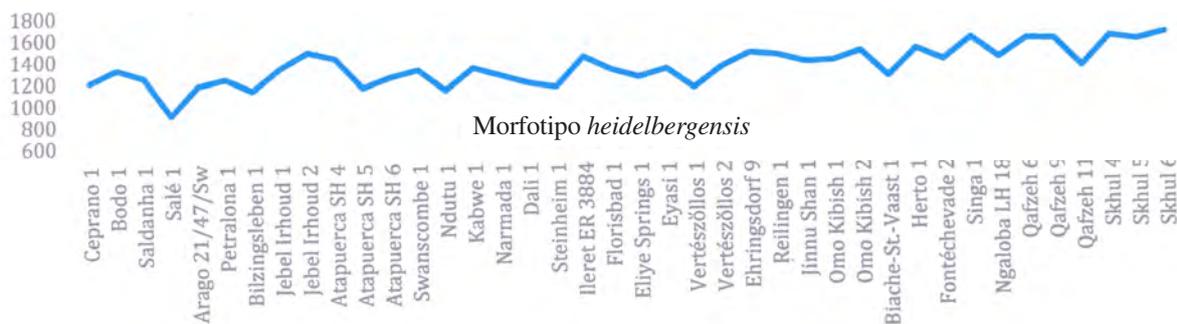


Fig. 6 - Grafico dei valori relativi ai reperti elencati nella tabella 2. A parte rare eccezioni, nel morfotipo *heidelbergensis* si registra un graduale aumento della capacità cranica da 1.200 a 1.400 cm³.

Reperti fossili	Nazione di provenienza	Capacità cranica (cm ³)	Antichità (anni or sono)
Saccopastore 1	Italia	1.200 – 1.258	200 – 130.000
Saccopastore 2	Italia	1.300	200 – 130.000
Krapina B/2	Croazia	1.350 – 1.450	130.000
Krapina C/3	Croazia	1.100 – 1.300	130.000
Krapina D/4	Croazia	1.350 – 1.450	130.000
Tabun (Monte Carmelo) I	Israele	1.270	122 – 50.000
La Ferrassie I	Francia	1.641 - 1.689	72.000
Guattari (Monte Circeo) I	Italia	1.550	57.000
La Chapelle-aux-Saints I	Francia	1.625	52.000
Ganovce I	Slovacchia	1.320	50.000
Engis 2 *	Francia	1.392	50.000
Neandertal I	Germania	1.500 – 1.550	50.000
Teshik-Tash I *	Uzbekistan	1.578	50.000
La Quina H 5	Francia	1.350	50.000
La Quina H 18 *	Francia	1.310	50.000
Spy I	Belgio	1.305	50.000
Spy 2	Belgio	1.553	50.000
Forbes Quarry Gibilterra I	Gran Bretagna	1.200	50 – 28.000
Forbes Quarry Gibilterra 2 *	Gran Bretagna	1.400	50 – 28.000
Shanidar I	Iraq	1.600	50.000
Shanidar 5	Iraq	1.525 – 1.550	50.000
Amud I	Israele	1.740	45.000
Le Moustier I	Francia	1.565 - 1.600	40.000

* individuo giovanile

Vi sono evidenze che prima di scomparire i Neandertaliani furono culturalmente influenzati dai nostri antenati. Alcuni dei loro siti, infatti, includono artefatti dello stesso tipo di quelli introdotti dagli immigrati della nostra specie, i quali possono perciò aver svolto un ruolo come di agenti stimolatori alla produzione di artefatti litici, sia per difendersi dai nuovi arrivati, sia per meglio cacciare i medesimi tipi di preda in un ambiente spesso ostile a causa delle basse temperature glaciali.

Il grafico riassuntivo della figura 9 mostra lo sviluppo nel tempo della capacità cranica dell'altra specie senza tener conto della distinzione in morfotipi con la quale è stata precedentemente descritta. A parte la solita eccezione dell'uomo di Flores, l'andamento della curva si presenta uniformemente re-

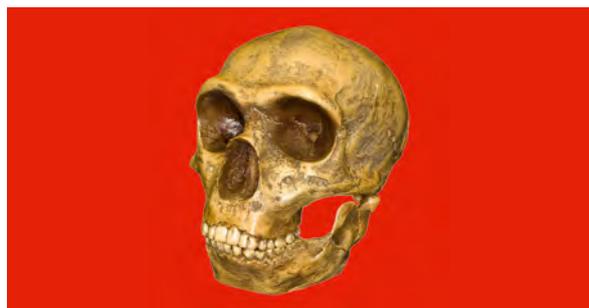


Fig. 7 - *Homo neanderthalensis neanderthalensis*: reperto I (ricostruito) della Forbes Quarry di Gibilterra.

golare e risulta perciò congruente con l'ipotesi della riconducibilità di tutti i reperti ad un'unica entità tassonomica, ovvero ad un'unica specie politipica (Fig. 10) la quale, dopo la sua comparsa, sembra essersi distribuita in tutto il Vecchio Mondo in un arco di tempo relativamente assai breve.

Le pagine che seguono hanno lo scopo di fornire un quadro sintetico ma sufficientemente completo delle caratteristiche distintive dell'altra specie umana. E poiché la bibliografia in proposito è pressoché sterminata, per non appesantire la lettura con continue citazioni rimando gli interessati a quelle utilizzate da altri come a suo tempo Klein (1989) e, molto più di recente, Roebroeks & Soressi (2016).

Identikit dell'altra specie

NEUROCRANIO – Di forma inizialmente allungata ed in seguito tendente spesso al globulare, il neurocranio aveva volta bassa, pareti spesse ed un marcato restringimento dietro la regione orbitaria, mostrando la sua massima larghezza più o meno in corrispondenza del diametro biauricolare. La capacità cranica si ampliò gradualmente nel corso del tempo: era di 850-900 cm³ negli esemplari più antichi, di 1.050-1.100 cm³ o poco più in quelli me-

Tab. 3 - Provenienza, capacità cranica e antichità di reperti risalenti al Pleistocene Superiore (eccettuati i primi cinque, risalenti al Medio) e generalmente classificati come *Homo neanderthalensis* o come *Homo sapiens neanderthalensis*.

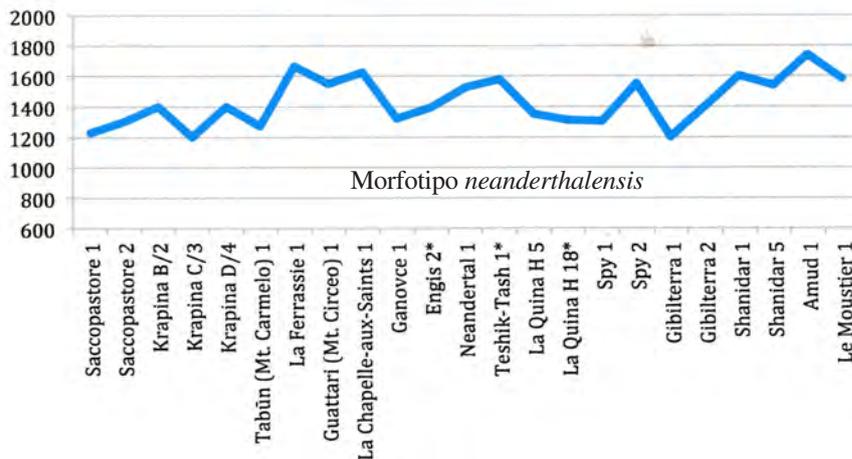


Fig. 8 - Grafico dei valori di capacità cranica relativi ai reperti elencati nella tabella 3. Da 200.000 a 45.000 anni fa nel morfotipo *neanderthalensis* dell'altra specie umana si assiste ad un ulteriore incremento di tale capacità.

diopleistocenici e di 1.245-1.740 cm³ in quelli pleistocenico-superiori europei, cioè i Neandertaliani s.s.. L'osso frontale, basso e sfuggente all'indietro, terminava sul davanti con un grande *torus supraorbitalis* che, nella norma frontale e dorsale, tendeva ad essere rettilineo negli esemplari più antichi e a doppio arco per l'arrotondarsi delle cavità orbitarie nei Neandertaliani s.s.. In cima alla volta cranica, lungo la linea mediana poteva svilupparsi una carena sagittale, associata a depressioni parasagittali su entrambi i lati e ad un ispessimento nell'area del bregma lungo la sutura coronale. L'occipitale aveva la squama superiore di solito più piccola di quella inferiore ed il profilo regolarmente caratterizzato da un'acuta angolazione; inoltre presentava al contatto delle due squame un *torus* trasversale più o meno vistoso che al centro era solitamente più spesso e poteva dar luogo a una protuberanza triangolare rivolta verso il basso. Nei Neandertaliani s.s. acquistava uno sviluppo caratteristico, sopra il punto centrale del *torus occipitalis*, una depressione ellittica, o fossa soprainiacia, egualmente delimitata da bordi rilevati;

inoltre divenivano particolarmente nette e pronunciate, in corrispondenza di ciascun processo mastoide, due creste ossee: una immediatamente dietro l'orificio uditivo e l'altra in posizione più ventrale rispetto al processo medesimo. Infine, l'analisi tomografica computerizzata ha rivelato nell'orecchio interno un labirinto osseo morfologicamente differente dal nostro.

In generale si può dire che *Homo sapiens*, oltre che per la riduzione dell'occipitale e lo sviluppo in altezza del frontale, avvenuti in parte anche nell'altra specie per una sorta di convergenza evolutiva, si è differenziato da quest'ultima soprattutto per l'ampliamento delle aree parietali che ha influito sull'intera architettura craniale (Bruner, Manzi & Arsuaga, 2003).

SPLANCNOCRANIO – La faccia era massiccia e piuttosto larga, con un evidente prognatismo in corrispondenza delle linea mediana delle arcate dentarie e con i mascellari rigonfiati al di sopra dei canini. L'apertura nasale, caratteristicamente ampia,

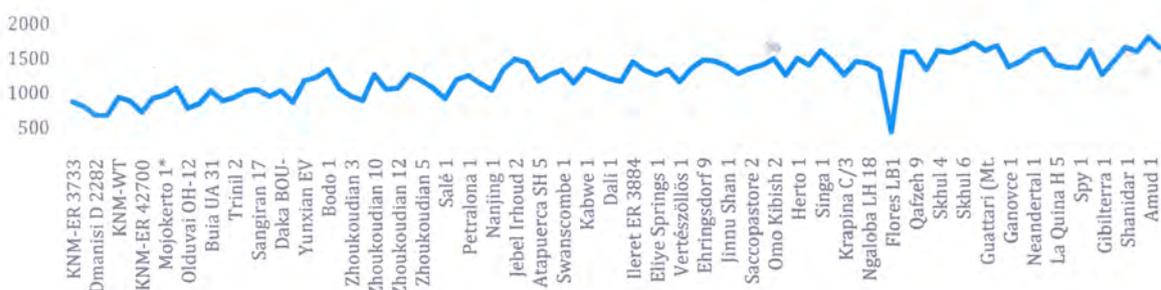


Fig. 9 - Sviluppo della capacità cranica dell'altra specie umana nel corso del tempo, senza tener conto della distinzione in morfotipi precedentemente adottata.

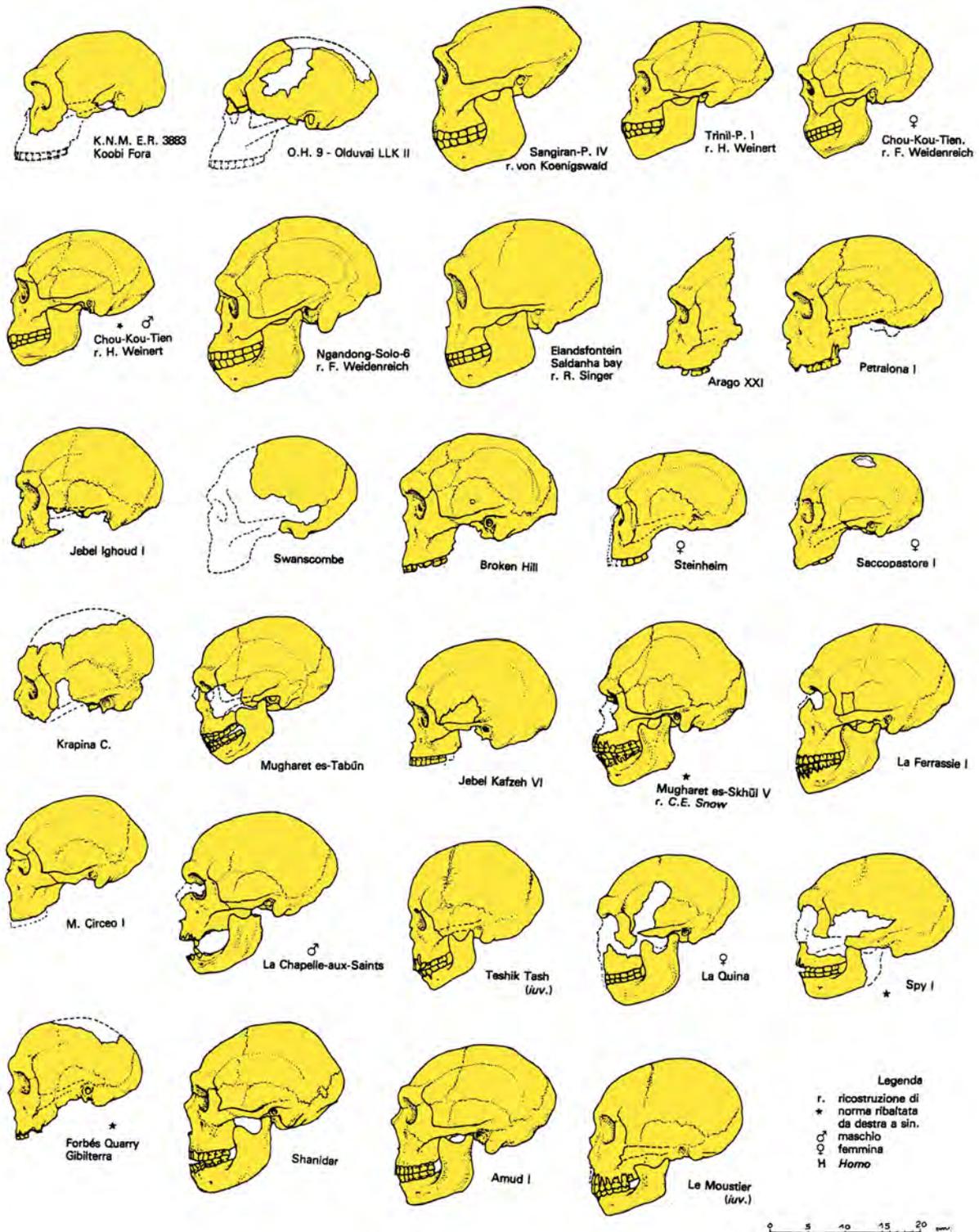


Fig. 10 - Alcuni dei reperti sui quali sono stati costruiti i grafici precedenti, collocati in successione dall'alto a sinistra in basso a destra secondo un ordine (non uniforme) di decrescente antichità. Insieme a tutti gli altri non raffigurati, essi sono visti – per usare la terminologia goethiana – come altrettante espressioni "metamorfiche" di un unico *Urtypus* naturale: la specie polittipica *Homo neanderthalensis* (disegni ripresi da Ranzi, 1982).

era proiettata in fuori rispetto alle adiacenti regioni mascellare e zigomatica e presentava nel suo interno, disposte una su ciascun lato, due caratteristiche

proiezioni triangolari assenti nella nostra specie (Holden, 1999). La mandibola era robusta e sotto gli incisivi inclinata all'indietro, cioè priva di mento.

DENTATURA – I denti giugali, spesso taurodonti ovvero con ampia cavità pulpare, erano grandi rispetto ai nostri. Gli incisivi erano egualmente grandi, spesso a forma di spatola e si presentavano per lo più, assieme ai canini e soprattutto nella loro parte anteriore, notevolmente più usurati dei molari. Negli esemplari più antichi era sporadicamente presente uno spazio o diastema tra il canino superiore e l'incisivo laterale, associato alla forma prominente ma spatolata del canino superiore. Nei Neandertaliani *s.s.* i molari, rispetto a quelli delle forme arcaiche, si presentano alquanto rimpiccioliti e, per via dello spostamento in avanti dell'apparato masticatorio, seguiti da notevoli spazi retromolari.

SCHELETRO POSTCRANIALE – Pur essendo simile al nostro, mostrava un certo numero di peculiarità. Le vertebre toraciche avevano canale neurale ridotto (nella I toracica del ragazzo di Nariokotome, il canale aveva un diametro pari a metà della media calcolata nella nostra specie) e processi spinosi robusti, lunghi ed orizzontali (i nostri sono inclinati verso il basso). Le coste, che in WT 15000 costruivano una gabbia toracica dalla forma lievemente ad imbuto, nei Neandertaliani *s.s.* divennero straordinariamente spesse ed incurvate dando luogo ad una gabbia toracica a forma di botte. La scapola presentava nel suo margine laterale o ascellare un profondo solco in posizione dorsale anziché ventrale come nella nostra specie. Il bacino, notevolmente robusto, si distingueva per un processo verticalmente sporgente sull'acetabolo e, nei Neandertaliani *s.s.*, per il notevole allungarsi e assottigliarsi delle ossa pubiche. Anche le ossa degli arti erano molto robuste, con parti corticali straordinariamente spesse, canali midollari relativamente esigui ed impressioni muscolari pronunciate. Il femore differiva dal nostro per l'assenza della cresta longitudinale sulla faccia posteriore e per una maggiore platimeria o compressione in senso antero-posteriore; inoltre aveva in WT 15000, malgrado le grandi dimensioni della testa, un collo estremamente lungo, mentre nei Neandertaliani *s.s.* si presentava un po' arcuato ed a sezione rotonda. Nella mano gli apici delle falangi distali terminavano con espansioni grandi ed arro-

tondate ed il pollice era composto da falangi più o meno della stessa lunghezza (nella nostra specie gli apici delle falangi distali terminano a cono mozzo, mentre la prima falange del pollice è nettamente più lunga della seconda). Nel piede le diafisi delle prime falangi erano espanse in senso laterale.

DEDUZIONI - Da come descritto, lo scheletro dell'altra specie porta a immaginare un essere umano dalla muscolatura estremamente robusta, con le mani dotate di straordinaria forza di presa, esercitata soprattutto dai pollici, ed in grado di effettuare marce prolungate (Fig. 11). La sua faccia doveva colpire i nostri antenati del Paleolitico superiore soprattutto per la proiezione in avanti dell'area sopraccigliare, per l'accentuato prognatismo e per le narici grandi e prominenti (Fig. 7). D'altra parte il suo cranio, sebbene racchiudesse di frequente un cervello dal volume paragonabile e talvolta addirittura superiore a quello medio della nostra specie, non necessariamente doveva riflettere identiche capacità intellettuali. In effetti, il fatto che i lobi occipitali di tale cervello fossero così vistosamente sviluppati a detrimento di quelli frontali, non può non far pensare ad un essere dotato di vista acuta ma incapace di elaborazioni mentali complesse. Non si può dunque escludere la possibilità che quel supplemento di tessuto cerebrale fosse connesso o alla regolazione di un metabolismo differente dal nostro o, più semplicemente, ad un adeguato controllo motorio di una massa muscolare che è stata stimata superiore di circa 9 kg a quella di uomini moderni di uguale statura.

CAPACITÀ DI PARLARE – Strettamente collegato ad elaborazioni mentali complesse deve ritenersi il linguaggio articolato; è però impossibile stabilire con sicurezza se un ominide fossile sia stato in grado o meno di parlare come noi semplicemente analizzandone il calco endocranico, in quanto la corrispondenza tra la forma della cavità cranica e quella del cervello rimane lungi dall'essere perfetta, per cui non può che fornire informazioni confuse e deludenti. Dal cervello, quindi, le indagini sono state estese ad altri organi come la lingua e la gola;



Fig. 11 – Scheletro di neandertaliano ricostruito (da Palmer, 2000).

e poiché l'unico reperto di osso ioide appartenente all'altra specie, quello della grotta israeliana di Kebara sul Monte Carmelo, è risultato all'analisi biometrica indistinguibile da quello di 67 individui umani attuali, Arensburg *et al.* (1990) hanno concluso che i Neandertaliani erano senz'altro in condizioni di emettere un linguaggio articolato analogo al nostro. Ma questo dato non è sufficiente a risolvere la questione in quanto, considerata la complessità di un organo in gran parte cartilagineo come quello laringeo, non è detto che alla "modernità" di un elemento ne facessero riscontro altrettanto a livello di tutti gli altri. Un tratto vocale in grado di articolare una gamma di suoni paragonabile a quella della nostra specie potrebbe essere stato realizzato tramite vie differenti. In effetti è significativo che persone alle quali è stata asportata chirurgicamente la lingua o la laringe riescano egualmente a parlare in modo comprensibile, come pure che alcuni uccelli riescano a produrre buone imitazioni della voce umana pur facendo uso di tratti vocali anatomicamente assai diversi.

Secondo Johansson (2013), che in un recente lavoro ha fornito lo stato dell'arte di questa difficilissima questione, la preponderanza delle evidenze supporta la presenza nell'altra specie umana di "almeno un proto-linguaggio parlato con semantica lessicale". Per quanto ciò possa risultare acquisito, comunque, se lo si considera in connessione con la limitatezza delle potenzialità cognitivo-simboliche manifestata dall'altra specie umana (come vedremo più avanti), non risulterà né illecito né irragionevole concluderne che per quest'ultima la comunicazione orale non svolgeva un ruolo così fondamentale come per la nostra.

MANUFATTI – Più o meno in concomitanza con l'apparizione dei primi veri uomini, cioè 1.760.000 anni or sono (Lepre *et al.*, 2011), comparve in Africa, accompagnandosi ai manufatti dell'Olduvaiano evoluto, un nuovo strumento litico con tutta la tipologia ad esso collegata. Si tratta del bifacciale acheuleano, un grosso strumento piatto ed a forma di mandorla accuratamente scheggiato su entrambe le facce ed utilizzato – com'è stato accertato

dall'esame al microscopio dei suoi margini taglienti – per svolgere ad un tempo funzioni molteplici: tagliare, raschiare e spaccare. Non si può dire, comunque, che per ciascuna di queste funzioni il nuovo strumento, malgrado la sua fattura più elaborata, funzionasse meglio dei più antichi manufatti olduvaiani; tanto è vero che questi continueranno ad essere prodotti ancora per lungo tempo assieme a quelli acheuleani. Ciò conduce direttamente al cuore del problema, che è il seguente: gli strumenti impiegati dai primi esseri umani variano di forma e di dimensioni, e gli archeologi per classificarli hanno assegnato a tali variazioni nomi diversi come discoidi, sferoidi, *choppers*, asce a mano, lame, grattatoi, ecc.; tutti questi nomi, però, celano il fatto che nessuno di essi aveva una forma sufficientemente consistente o distintiva da suggerire una qualche sua specifica funzione. I segni di usura individuabili sugli strumenti mostrano che essi erano adoperati per tagliare carne, ossa, pelle, legno e parti di piante non legnose; ma sembra proprio che per ognuna di tali funzioni andassero bene strumenti di qualsiasi forma o dimensione. Le categorie create dagli archeologi appaiono dunque sempre più come suddivisioni arbitrarie entro un insieme continuo di forme.

A partire da 1.400.000 anni fa, l'Acheuleano si diffuse dall'Africa al Vicino Oriente e all'India e, da 800.000 anni fa, anche in Europa. In tutto il resto del Vecchio Mondo, invece, furono prodotti strumenti litici fin da tempi assai remoti, però sistematicamente senza bifacciali acheuleani e paragonabili, come grado di complessità, addirittura all'Olduviano arcaico. Nell'Asia orientale i bifacciali compariranno intorno agli 800.000 anni or sono, ma non acquisteranno ampia diffusione prima di 300-200.000 anni fa; ed è appunto intorno a questa data che nella documentazione archeologica europea, africana e vicino-orientale comparve un'ulteriore innovazione, nota come "tecnica Levallois", la quale concluse il Paleolitico inferiore e segnò l'inizio del Paleolitico medio. Essa consisteva nel preparare un nucleo di pietra in maniera tale da potervi staccare con un colpo unico una scheggia dai margini taglienti, lunghi e continui: perciò non richiedente,

per essere usata all'occorrenza, se non minime modificazioni. Il percussore impiegato era solitamente "tenero", cioè non di pietra ma d'osso. Poteva essere utilizzata anche la tecnica di percussione indiretta poggiando al nucleo un pezzo d'osso e colpendo quest'ultimo con una pietra. Gli strumenti ottenuti con questa tecnica, denominati musteriani, sono ben fatti e a prima vista si presentano con forme assai varie. Anche in questo caso, come per le culture litiche precedenti, una prima classificazione aveva riconosciuto un gran numero di varianti (piccoli bifacciali su scheggia, lame, raschiatoi, punte, bulini, ecc.); ma poi ci si è resi conto che determinate tipologie ritenute distinte rappresentavano in realtà stadi diversi del processo di rimodellamento di un più limitato numero di forme fondamentali. In conclusione, se li paragoniamo a quelli prodotti dalla nostra specie nel Paleolitico superiore, con la loro straordinaria ricchezza di differenziazioni e di stili (il Castelperroniano/Uluzziano, l'Aurignaziano, il Gravettiano, il Solutreano e il Magdaleniano), i manufatti del Paleolitico medio, sebbene fossero un po' più vari di quelli del Paleolitico inferiore, ne perpetuarono le medesime caratteristiche di monotonia su vaste aree e per tempi lunghissimi.

Oltre che dalla tecnica Levallois, l'inizio del Paleolitico medio è segnato dall'introduzione dell'utilizzo di pigmenti rossi, che associato a quello di pigmenti neri diventerà pratica diffusa nei Neandertaliani in siti successivi ai 60.000 anni fa, come testimoniano strumenti per la lavorazione di pigmenti, contenitori di ocre e frammenti di minerali ricchi in ossido di ferro e di manganese in numerosi insediamenti europei. A tutt'oggi, comunque, non si è ancora in grado di indicare con certezza l'uso che i Neandertaliani facevano di questi pigmenti e diverse sono le ipotesi proposte: l'ocra poteva essere usata per dipingere, forse il corpo o alcuni oggetti, oppure per trattare le pelli o ancora per produrre mastici da usare per fissare punte di lancia e costruire manufatti (cfr.: Lombard, 2005, 2006; Mazza *et al.*, 2006; Wilkins *et al.*, 2012). In ogni caso, l'impressione generale è che il più delle volte gli strumenti litici non venissero montati su altri materiali per accrescerne l'efficienza, così come

noi montiamo zappe o picconi su manici di legno, e che fossero afferrati direttamente con le mani.

Questo sposta l'attenzione su un'altra importante peculiarità, e cioè che malgrado l'abbondanza dell'osso quale sostanza utilizzabile dopo il recupero di una carogna o un'azione di caccia, tranne i cosiddetti *lissoirs*, cioè frammenti di costole generalmente di cervo usate per meglio scarnificare le pelli degli animali (Soressi *et al.*, 2013), praticamente nessun altro strumento era costruito con tale materiale: nessun amo per pescare o ago per unire pellicce. Al medesimo modo, non risulta che venisse confezionata alcuna corda per fare delle reti. Viene dunque da pensare che le mani dell'altra specie, malgrado tutta la loro potenza muscolare nell'afferrare – ed anzi forse proprio per questa loro peculiarità – non fossero flessibili e sensibili come le nostre. Da un esame comparativo delle entesi (cioè i segni rilevabili in corrispondenza delle aree di giunzione tra tendini, muscoli e tessuto osseo) effettuato da Karakostis *et al.* (2018) ciò non risulterebbe; ma non credo si possa escludere che per il neandertaliano non sia stato facile, data anche la struttura tozza dei suoi metacarpi e delle sue falangi, con quelle distali caratteristicamente terminanti in forma arrotondata (Fig. 12), eseguire determinate operazioni per noi semplici come scrivere con una matita o girare una chiave yale. E forse era proprio per sopperire in parte a questa sua limitazione, che egli sottoponeva così regolarmente a tensione ed usura i suoi grandi incisivi: evidentemente, per afferrare come in una morsa e tenere ben tesi pezzi di carne da tagliare, pelli da scuoiare o altre cose da trattare con entrambe le mani libere.

È invece accertato che l'altra specie utilizzava il legno ed era anzi in grado, occasionalmente, di costruire solide lance aguzzandone la punta con la sua strumentazione litica e, talvolta, indurendola al fuoco. Lance fossili, infatti, malgrado siano molto rare, sono state rinvenute in siti come Clacton in Inghilterra e Lehringen e Schönigen in Germania. Lunghe intorno ai 2 m e con un diametro di circa 4 cm, queste lance sarebbero state sicuramente pesanti e inadatte ad essere scagliate a distanza; per cui soltanto uomini di corporatura robusta avreb-

bero potuto utilizzarle, spingendole direttamente nel corpo della preda nel corso di una lotta molto ravvicinata. Questo modo di cacciare era evidentemente pericoloso, come risulta attestato anche dai segni di traumi riscontrabili in molti reperti dell'altra specie umana.

ACCAMPAMENTI – Il fatto che gran parte dei suoi resti fossili più recenti provenga da grotte non comporta che l'altra specie umana vivesse esclusivamente in esse, ma è una mera conseguenza del fatto che in tali ambienti i resti medesimi – a differenza che nei siti all'aria aperta, soggetti a rapida erosione per via degli agenti atmosferici – rimangono molto più protetti e dunque hanno maggiori probabilità di conservarsi. In ogni caso, è sicuramente assai probabile che le grotte o i ripari al di sotto di sporgenze rocciose fossero le loro sistemazioni preferite, e non soltanto perché offrivano protezione dagli elementi, ma perché spesso si trovavano vicino ai luoghi di reperimento della selce di qualità migliore, la materia prima ideale per la fabbricazione di strumenti. Deve comunque considerarsi acquisito che l'altra specie umana non si accampava all'interno delle grotte, eccessivamente umido, bensì all'ingresso di esse; per cui le industrie litiche che vengono scoperte nei riempimenti di grotta sono state abbandonate non esattamente in quei punti, bensì all'ingresso della caverna, da cui, assieme ai residui dei focolari che regolarmente vi erano tenuti accesi, sono poi scivolate all'interno della cavità, unitamente ai sedimenti che le contenevano, per fenomeni di soliflusso legati ad episodi glaciali.

È molto probabile che, almeno occasionalmente, l'altra specie costruisse qualche sorta di rozzo ricovero artificiale; ma il massimo che finora si è potuto trovare consiste unicamente in fori di impianto di rami ed in poche pile di pietre tutt'intorno ad essi (cfr. il sito di Terra Amata presso Nizza, risalente a circa 400.000 anni fa) (Fig. 13). Entro tali ricoveri, occupati da gruppi poco numerosi, strumenti, pietre combuste e residui di macellazione erano di solito sparsi in modo casuale; a Kebara nel Vicino Oriente, comunque, i focolari, accompagnati da strumenti litici, erano concentrati al centro

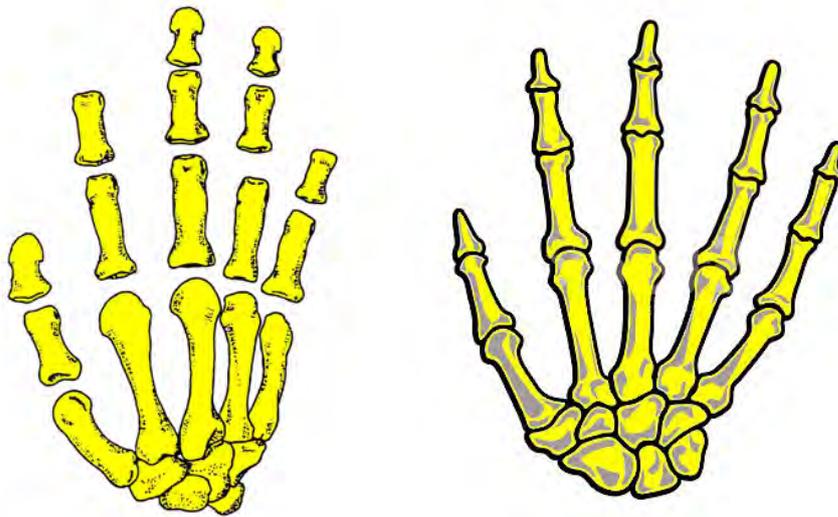


Fig. 12 - Scheletro della mano destra nella norma dorsale: a sinistra, di un neandertaliano (Shanidar 4 - da Klein, 1989); a destra, di un uomo attuale (ridis. da Sobotta & Becher, 1969).

dell'area, la quale era tenuta sgombra dei rifiuti ossei che venivano gettati verso il fondo della grotta.

SOSTENTAMENTO – Qualunque fosse il modo con cui otteneva il cibo, all'altra specie doveva in ogni caso servirne molto, in quanto si stima che la sua massiccia corporatura richiedesse quotidianamente dalle 100 alle 350 calorie in più rispetto a noi. Quasi certamente essa ricavava il grosso del suo sostentamento dai vegetali che raccoglieva (tuberi, funghi, frutti, bacche e foglie commestibili), assieme a piccoli rettili, lagomorfi, roditori, crostacei e pesci più facilmente catturabili come anguille. A Gibilterra si nutriva di delfini, foche e frutti di mare, oltre che di uccelli e conigli. Essa, in ogni caso, praticava anche la caccia in gruppo con appostamento, circondando e confondendo la preda e, in tal modo, mettendosi in competizione con predatori come lupi, leoni e iene. La maggior parte degli archeologi è disposta a concedere che cacciasse fundamentalmente erbivori di taglia media come il cervo nobile, il daino, la renna e il cavallo. Più raramente affrontava animali di grossa taglia trascurati dai predatori, quali uri, bisonti, rinoceronti e perfino mammuth, la cui carne era particolarmente energetica in quanto ricca di grasso. Devono anche essere segnalati casi di cannibalismo, da intendersi crudamente come un altro modo per nutrirsi, magari occasionale e a spese di individui estranei al proprio gruppo. Infatti nel cranio africano di Bodo e in quello classico

della valle di Neander, nonché nel materiale fossile della Gran Dolina di Atapuerca e di Zafarraya in Spagna, di Marillac, Combe Grenal, Macassargues e Moula Guercy in Francia e di Krapina e Vindjia in Croazia, sono evidenti segni di scarnificazione e di rottura, tramite l'uso intenzionale di strumenti litici, delle ossa degli arti maggiormente ricche di midollo.

I luoghi all'aperto nei quali la presenza o un accampamento di caccia dell'altra specie sono considerati certi o probabili erano ubicati in prossimità di antichi fiumi o laghi che, per loro stessa natura, non potevano non avere attratto uomini e animali. Le ossa rinvenute in questi siti potevano quindi appartenere ad animali uccisi dall'uomo, ma anche da carnivori e perfino da fattori naturali quali la fame o le malattie (carcasse, cioè indipendenti da qualsiasi controllo umano e solo successivamente rovistate da uomini o da carnivori). Allo stato attuale delle conoscenze, quindi, siti come Torralba e Ambrona nella Spagna settentrionale (1 milione di anni fa) o come Isernia La Pineta nell'Italia meridionale (730.000 anni fa) possono non essere stati molto diversi dai margini di fiumi, di acquitrini e di pozze d'acqua dell'Africa attuale, dove i processi che danno origine a carcasse animali sono di vario tipo e non necessariamente coinvolgono l'uomo. Questi siti fossili, pertanto, non sono in grado di dirci quanto abile fosse o quanto successo avesse l'altra specie nel procurarsi carne.



Fig. 13 - Ricostruzione di un ricovero dell'altra specie umana esposta a Nizza nel Musée de Préhistoire de Terra Amata.

Premesso quanto sopra, sembra che l'altra specie non si curasse o fosse incapace di pianificare a lungo termine in modo da poter fare pieno uso delle risorse presenti nel territorio. Infatti, mentre i nostri antenati del Paleolitico superiore erano raccoglitori e cacciatori in maniera sistematica e pianificavano ogni loro attività, i Neandertaliani si stanziavano soltanto in aree dove il cibo era disponibile in permanenza, le percorrevano in continuazione un po' di qua e un po' di là sfruttando indiscriminatamente tutte le risorse che incontravano e sempre oscillando intorno ad un accampamento-base preferenziale. A puro titolo esemplificativo: poiché ogni primavera i fiumi d'Europa erano generalmente pieni di salmoni, per catturarne in gran numero bastava anticiparne la risalita come faceva l'Orso speleo; eppure, nelle grotte frequentate da tale carnivoro vi è abbondanza di resti fossili di salmone, mentre nel riparo neandertaliano di Combe Grenal, ubicato in stretta prossimità delle sponde del Fiume Dordogna, non ne è stata trovata che una sola vertebra.

RELAZIONI CON I SUOI SIMILI – L'altra specie viveva, con ogni probabilità, in gruppi di meno di 30 individui e la sua esistenza era talmente dura che difficilmente giungeva a oltrepassare i 40 anni di età. Le patologie di natura non traumatica includevano osteoartriti ed osteoporosi. Quelle di natura traumatica, invece, si presentavano per lo più con ferite nella testa e nella parte superiore del corpo, molto meno in quella inferiore. L'esempio più impressionante, in ogni caso, rimane quello di un individuo di circa 40 anni rinvenuto nella grotta iraniana di Shanidar. L'uomo aveva l'intera regione dell'occhio destro schiacciata ma cicatrizzata, per cui deve essere rimasto o cieco in tale occhio, oppure affetto permanentemente da visione doppia; aveva perduto l'avambraccio destro, mentre il braccio gli era rimasto fratturato in due punti senza cicatrizzarsi; aveva poi una severa artrosi nell'anca destra e nell'alluce, e una frattura cicatrizzata sul lato esterno del piede, come se in quel punto gli fosse caduto sopra qualcosa di pesante. Con ogni

evidenza, considerate la spietatezza dell'esistenza dell'altra specie e la gravità di tali difetti fisici, l'uomo non avrebbe potuto sopravvivere se per anni non fosse stato aiutato dai suoi compagni di gruppo.

Almeno a giudicare dai risultati delle ricerche effettuate a Combe Grenal (70.000 anni fa), sembra che presso i Neandertaliani le relazioni familiari fossero molto diverse da quelle dei nostri antenati del Paleolitico superiore (Fishman, 1992). Le donne con i bambini rimanevano accampate davanti al riparo, ove alimentavano un focolare a fuoco lento e basso e scheggiavano ciottoli raccolti direttamente sul posto, muovendosi unicamente nelle vicinanze immediate per raccogliervi cibo vegetale da cuocere. Gli uomini adulti, invece, si allontanavano dall'accampamento e vi facevano ritorno solo di tanto in tanto portando con sé, assieme agli strumenti litici preparati sul luogo di caccia o di recupero di carcasse, crani animali con dentro il cervello e ossa ricche di midollo. Per poter fornire il loro nutriente contenuto, questi dovevano essere bruciati ad alta temperatura tramite un focolare *ad hoc* preparato ad una certa distanza da quello delle donne. Queste, poi, ricevevano parte del cibo portato dagli uomini. Se quanto rilevato a Combe Grenal venisse verificato anche in altri siti, dovremmo dedurre che per l'altra specie non esisteva l'unità familiare: nessun luogo centrale in cui raccogliersi, preparare i cibi, condividere le risorse e dormire. Sembra che tanto gli uomini quanto le donne per la maggior parte del loro tempo pensassero solo a se stessi.

POTENZIALITÀ COGNITIVO-SIMBOLICHE – Nulla sta a dimostrare in maniera inequivocabile che l'altra specie credesse in forze superiori e in una vita ultramondana o praticasse rituali di natura simbolico-religiosa. Non c'è dubbio che essi, almeno occasionalmente e con grande semplicità, abbiano sepolto i loro morti, deponendoli prevalentemente con gli arti flessi forse per la semplice ragione pratica che così facendo era sufficiente scavare una fossa più piccola. In tal caso, è possibile che la sepoltura dei defunti non avesse per loro lo stesso significa-

to simbolico che ha per noi: potrebbe essere stata solamente un modo per evitare di creare una forma di sgradevole 'disordine' nello spazio abitativo, oppure per scoraggiare le incursioni di iene e altri animali spazzini intorno all'accampamento. Ma altre volte, come nel caso della Sima de los Huesos di Atapuerca, i cadaveri sono stati gettati direttamente e regolarmente in un profondo inghiottitoio situato nel fondo della grotta. E altre volte ancora, come nel caso del bambino di Teshik-Tash adagiato su un letto di ossa di cavallo e incastrato fra cinque paia di grandi corna di capra fissate al suolo, hanno suscitato più interrogativi che chiarimenti.

Nessuna prova sicura di bisogno di esprimere simbolicamente qualcosa. Reperti prodotti dalla nostra specie come il pezzo d'ocra rossa con sopra incise precise figure geometriche rinvenuto a Blombos in Sudafrica e risalente a 74.000 anni fa, non lasciano alcun dubbio circa il loro collegamento con una mente dotata di potenzialità cognitivo-simboliche. Ma quando spostiamo l'attenzione su ciò che in questo senso è stato prodotto dall'altra specie umana, non si può che rimanere perplessi. In tale specie, malgrado il suo lungo tratto di esistenza sulla Terra, il massimo che si può trovare, e solo di tanto in tanto, sono un osso o una conchiglia recanti incisioni irregolari, un dente o un frammento d'osso o alcune conchiglie sommariamente forati, un ciottolo con strane coppelle, un fossile portato da un altro luogo oppure un deposito di ocra il cui uso può essere stato anche molto diverso da quello di dipingersi il corpo. Ultimamente hanno suscitato particolare scalpore il cerchio fatto con stalagmiti spezzate nella grotta francese di Bruniquel, gli artigli e piume di rapaci rinvenute in più siti, le conchiglie marine fossili ricoperte d'ocra delle grotte italiana di Fumane e spagnole di Cueva de Los Aviones e Cueva Antòn, nonché, ancora in Spagna, le inaspettate pitture della grotta della Pasiega – per non parlare del flauto (lo era veramente?) rinvenuto a Divje Babe in Slovenia. Ma sono appunto la rarità e la rozzezza stesse connaturate a casi come questi, a dimostrarci che nella vita dell'altra specie umana l'espressione simbolica non svolgeva un ruolo così fondamentale come nella nostra. Come ha punta-

lizzato Ian Tattersall in una conferenza tenuta a Udine nel 2016: “È indubbio che gli esseri umani sono creature complesse derivate da antenati complessi, di cui talora si rintracciano manifestazioni insolite nella documentazione a noi giunta. La più antica del genere è un disegno geometrico inciso su una conchiglia risalente a mezzo milione di anni fa e rinvenuto a Trinil, sull’isola di Giava, attribuibile a *Homo erectus*. Circa 130.000 anni fa, nel sito di Krapina (Croazia), è possibile che i Neanderthal abbiano deliberatamente rimosso gli artigli di carcasse d’aquila per creare collane ornamentali. E forse gli ultimi rappresentanti di questa specie hanno anche inciso un grande motivo a griglia sul fondo di una grotta di Gibilterra. A ogni buon conto una rondine (o tre) non fa primavera e, benché affascinanti, tali reperti sono di rilevanza limitata in quanto singole manifestazioni decontestualizzate da tradizioni sociali simboliche riconoscibili.” (2017: 81-82)

Nessun bisogno di esprimere simbolicamente qualcosa e, a quanto sembra, neppure alcuna curiosità o desiderio di esplorare territori nuovi. La rupe di Gibilterra, uno degli ultimi rifugi dell’altra specie umana, ha numerose grotte rivolte verso sud, dove la calda Africa rimane a soli pochi km di là dallo stretto; eppure, nonostante l’imperversare dal nord dei violenti e gelidi venti connessi all’ultima espansione glaciale, sta di fatto che nessuno di quegli uomini ha mai ritenuto di dover tentare di affrontare il mare.

ABBIGLIAMENTO (?) E ASPETTO ESTERIORE – Sørensen (2009) ha indagato sull’utilizzo di energia da parte dei Neanderthaliani dell’Europa settentrionale durante l’Eemiano o ultimo periodo interglaciale, che è stato particolarmente mite. La sua ricerca puntava soprattutto a determinare la quantità di energia metabolica a loro necessaria per compensare le perdite di energia durante il sonno, le quotidiane attività d’insegiamento e le spedizioni di caccia includenti il trasporto di cibo da animali squartati fino all’accampamento base. Focolari allestiti all’aperto o entro ripari come caverne o capanne potevano fornire ulteriori fonti di energia per il riscaldamento, la sicurezza e la cottura. La

ricerca ha portato a far concludere che non soltanto durante gli episodi glaciali, ma anche durante gli interglaciali più benigni come l’Eemiano, i Neanderthaliani dovettero far fronte ad un considerevole problema di perdita di calore; per poter sopravvivere, dovevano necessariamente indossare abiti cuciti o adottare qualche altra misura simile. Una pelliccia animale messa sulle spalle non sarebbe stata sufficiente a far loro superare le temperature medie invernali e il raffreddamento del corpo per la convezione causata dal vento. Abiti e soprattutto calzari, inoltre, dovevano entrambi essere cuciti in maniera tale da adattarsi strettamente al corpo per prevenirvi l’intrusione d’acqua o di neve. Quanto allo svolgersi in tempi reali dell’attività di caccia, lo studio di Sørensen mostra che soprattutto durante le calure estive il trasporto di carne fino all’insegiamento base non sarebbe stato possibile senza l’adozione di una tecnica finalizzata ad impedire che la carne si decomponesse, e che la sola tecnica probabile è il disseccamento della carne nello stesso luogo di uccisione della preda.

Quanto è stato ora esposto pone un problema di non poco peso: come faceva l’altra specie umana a cucirsi abiti e calzari adeguati se non utilizzava l’osso per ricavarne aghi? Oltre che da Sørensen, la questione è stata affrontata da Gilligan (2007), Wales (2012) e Collard *et al.* (2016), e la conclusione a cui questi Autori sono pervenuti, riassunta da Hogenboom (2016), è che i Neanderthaliani, a differenza dei primi *Homo sapiens* immigrati in Europa, non erano in condizione di proteggersi adeguatamente dal freddo: un fatto che secondo loro, con ogni evidenza, non può non avere svolto un ruolo importante nel già ricordato processo di progressivo declino che ha interessato tale specie. Per parte mia, comunque, ritengo di dover far notare che tutti gli studi citati si basano sull’assunzione che il metabolismo dei Neanderthaliani fosse comparabile al nostro; ma il metabolismo è governato dal cervello e, come sappiamo, il cervello dei Neanderthaliani era differente dal nostro. Il che mi induce fortemente a sospettare che l’altra specie umana non facesse uso di alcun abbigliamento, disponendo unicamente, come mezzo naturale per proteggersi dal fred-

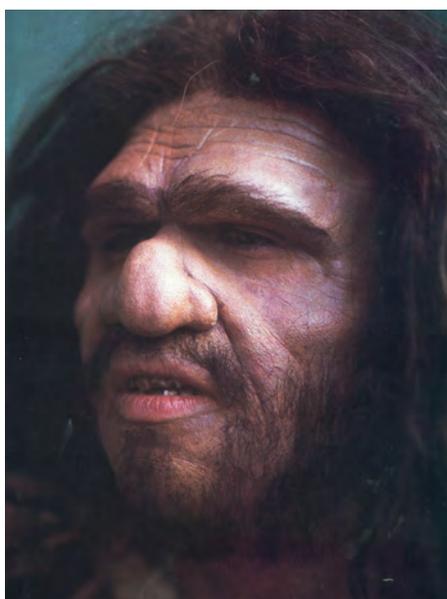


Fig. 14 - Tre tentativi di ricostruzione dell'aspetto esteriore dell'altra specie umana. A sinistra in alto, dal Neanderthal Museum di Mettmann. A sinistra in basso, nella serie della Wall to Wall Television (da Palmer, 2000). A destra, sempre dal museo di Mettmann, il neandertaliano di Spy 2 come riprodotto dai fratelli Kennis.

do, di un rivestimento di pelo più o meno fitto e lungo a seconda delle aree geografiche del pianeta nelle quali era distribuita ed alle quali era adattata.

Se quel che sospetto è vero o anche soltanto degno di essere preso in seria considerazione, allora non poche delle idee maggiormente diffuse circa l'aspetto esteriore dell'altra specie umana dovranno essere rivedute. Del resto nel corso del tempo, com'è stato riconosciuto dagli stessi specialisti (cfr. ad es. Stringer & Gamble, 1993), la varietà dei tentativi di ricostruzione di tale aspetto non ha mai accennato a diminuire.

A volte si sente affermare che se potessimo di-

sporre di un esemplare vivente dell'altra specie e lo mandassimo in metropolitana dopo averlo rasato, pettinato e vestito in modo elegante, probabilmente passerebbe inosservato. Non è così. L'esperimento è stato fatto ma non ha avuto successo, come potrà constatare chiunque abbia occasione di visitare in Germania il Neanderthal Museum di Mettmann presso Düsseldorf (Fig. 14). Agli inizi di questo secolo, in un libro apprezzato e presentato da Chris Stringer del londinese Natural History Museum, Palmer (2000) utilizzava immagini riprese dalla serie di documentari sui Neanderthal creata dalla Wall To Wall Television e trasmessa dal Channel

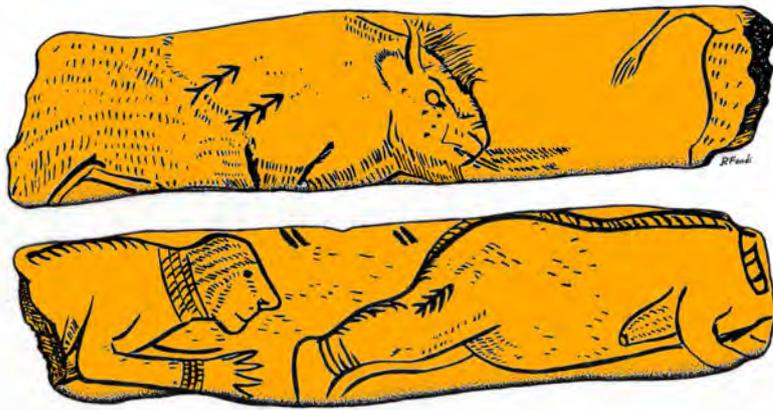


Fig. 15 - Osso inciso su entrambi i lati proveniente dalla grotta di Isturitz nei Bassi Pirenei (da Boule & Vallois, 1952, ridisegnato dallo scrivente).

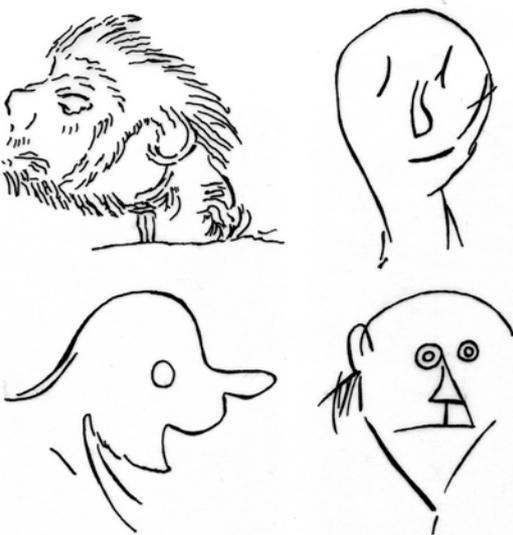


Fig. 16 - In alto a sinistra: graffito su roccia, ancora dalla grotta di Isturitz (da Mauduit, 1954). In alto a destra e in basso: è significativo che i nostri antenati del Paleolitico superiore, malgrado raffigurassero gli animali oggetto di caccia in modo realistico e spesso con sorprendente talento artistico, non facessero lo stesso con i volti dei loro simili o lo facessero solo in modo approssimativo se non addirittura caricaturale (da Boule & Vallois, 1952).

4 della BBC, nella quale attori truccati secondo indicazioni di paleoantropologi (Fig. 14) entravano in scena con il corpo nudo coperto da ampie pellicce semplicemente aggiustate sopra le spalle e strette alla vita da cinture fatte con rami di piante. Attualmente, invece, risultano particolarmente apprezzate le ricostruzioni dei fratelli olandesi Adrie e Alfons Kennis, straordinarie dal punto di vista artistico e dell'espressività ma secondo me assai discutibili da quello della credibilità. Le ricostruzioni, infatti, ci presentano corpi glabri (allo scopo anche di mostrare parti della pelle supposte dipinte di nero o di rosso) e praticamente (si veda, ad es., l'esempla-

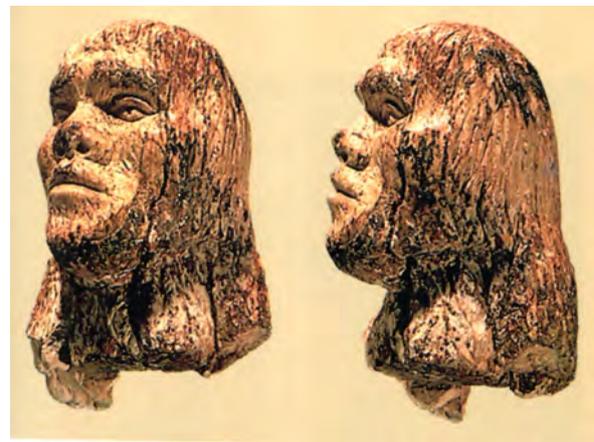


Fig. 17 - Testina intagliata in avorio di mammoth proveniente da Dolní Věstonice nella Repubblica Ceca (da Marshack, 1988).

re di Spy 2, abbigliato con rudimentali pantaloni e grembiuli in pelle) (Fig. 14) o interamente nudi (come la coppia di Gibilterra "Nana & Flint" nel Natural History Museum di Londra, egualmente approvata da Stringer), riservando solo alla testa barba e capelli lunghi e ispidi.

A chi mi chiedesse se sono in grado di fornire ulteriori elementi a sostegno dell'idea che l'altra specie umana non aveva alcun abbigliamento in quanto villosa per natura, risponderei che tali elementi andrebbero innanzi tutto *cercati*; comunque sia, per il momento ne indicherei tre: le incisioni provenienti dalla Grotta di Isturitz nei Bassi Pirenei, la testina in avorio di mammoth studiata e resa nota da Alexander Marshack (1988) e il cadavere inglobato nel ghiaccio del cui *affaire* furono protagonisti due personaggi discussi come Ivan Sanderson e Bernard Heuvelmans.

Con il primo dei tre elementi (Figg. 15-16),

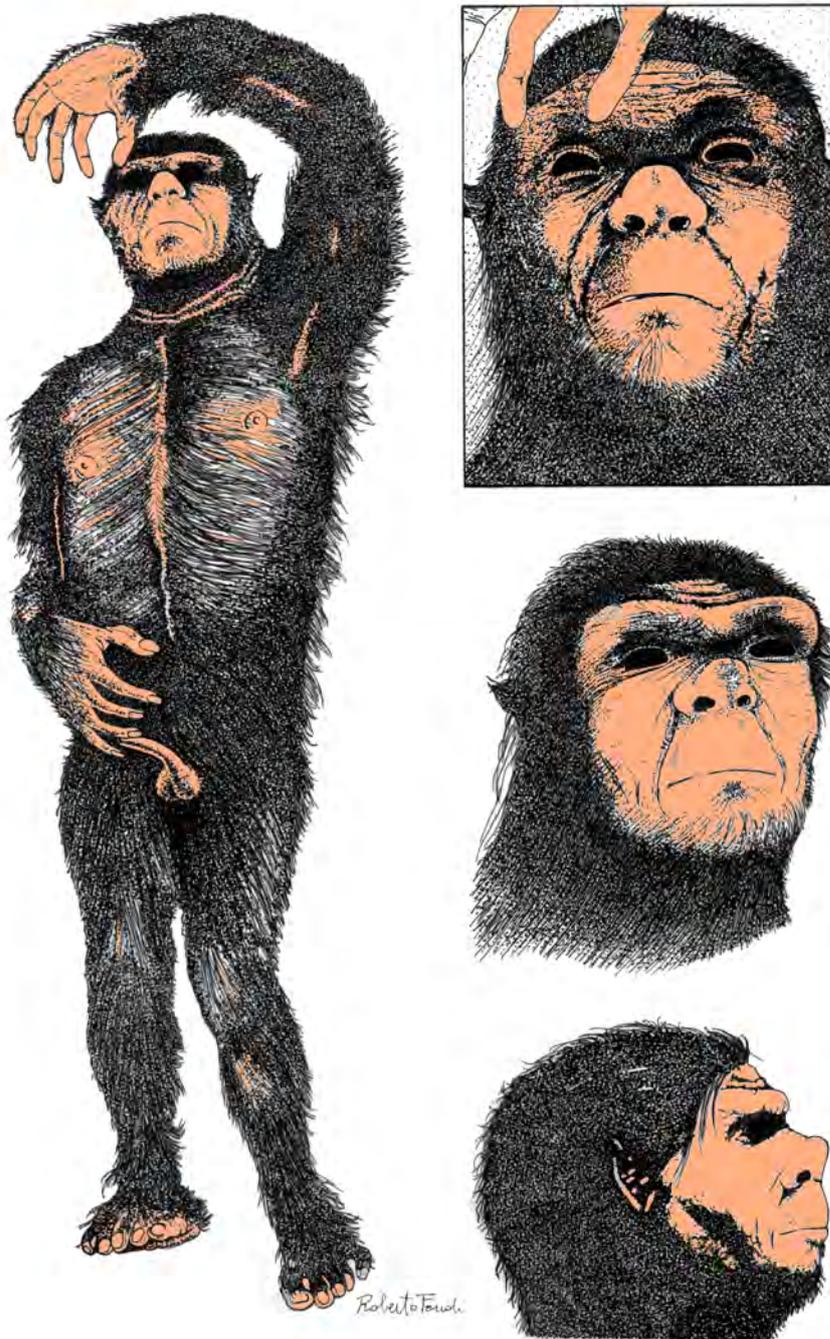


Fig. 18 – Ricostruzione di ciò che fu osservato, inglobato nel ghiaccio, da Heuvelmans e Sanderson (disegno dello scrivente).

che stranamente sembra aver ricevuto attenzione soltanto da pochi Autori (Boule & Vallois, 1952; Mauduit, 1954), camminiamo su un terreno sicuro. Circa il secondo elemento (Fig. 17), che sarebbe stato rinvenuto a Dolní Věstonice nella Repubblica Ceca e sulla cui autenticità almeno un archeologo (Bahn, 1997) ha espresso forti dubbi (basati sul solo

motivo che l'oggetto non è stato trovato da uno specialista), rimane il fatto che le analisi spettrografiche delle particelle alfa alle quali è stato sottoposto per individuarvi elementi radioattivi idonei a valutarne l'età (e nelle incrostazioni formatesi nelle incisioni d'intaglio è stato riscontrato uranio "in sorprendenti quantità") lo farebbero risalire a circa 26.000 anni

fa (Marshack, 1988; Sutherland, 2015). Quanto al terzo elemento (Fig. 18) – sul quale in passato già mi sono espresso (Fondi, 1999) e per una dettagliata conoscenza del quale rimando senz'altro a quanto hanno scritto Heuvelmans & Porchnev (1974), Heuvelmans (1969, 1993), Rossi (2008) e Coleman (2016) –, sono perfettamente consapevole del fatto che non sapremo mai come sono andate realmente le cose e che pertanto potrà sembrare inutile e addirittura di pessimo gusto tornarci sopra. Se ho deciso ugualmente di farlo, è solo: (1) perché sono convinto che di fronte ad opere così documentate, appassionanti e stimolanti come quella di Heuvelmans e Porchnev non sia né giusto né ragionevole rimanere indifferenti; (2) perché alla fin fine il quadro complessivo che ne emerge risulta coerente: sia i graffiti di Isturitz, sia la scultura di Dolní Věstonice,

descrivono in modo realistico ominidi villosi dalla fronte bassa, dalle arcate sopraccigliari sporgenti e dal naso con le narici rivolte in avanti, che i nostri antenati del Paleolitico superiore concepivano come degni di essere trattati allo stesso modo dei bisonti – cioè come creature da colpire con i dardi scagliati dai loro propulsori –. E poiché quello che Heuvelmans e Sanderson osservarono, descrissero e fotografarono corrisponde in pieno alla suddetta descrizione, deve ritenersi gratuita l'affermazione aprioristica, cioè non sostenuta da alcun solido elemento, che essi semplicemente abbiano preso un abbaglio o siano stati sapientemente ingannati. Piaccia o no, il finale e il valore della storia, della quale il libro di Lorenzo Rossi rappresenta a mio giudizio un eccellente coronamento, sono quindi destinati a rimanere aperti.

Testi citati

Arensburg B., Schepartz L.A., Tillier A.M., Vandermeersch B. & Rak Y. (1990) – *A reappraisal of the anatomical basis for speech in Middle Palaeolithic hominids*. Amer. Journ. Phys. Anthropol., 83 (2): 137-146.

Bahn P. (1997) – *Journey Through the Ice Age*. University of California Press, Oakland.

Boule M. & Vallois H.V. (1952) – *Les hommes fossiles. Éléments de paléontologie humaine*. Masson et C^{ie}, Paris.

Bruner E., Manzi G. & Arsuaga J.L. (2003) – *Encephalization and allometric trajectories in the genus Homo: Evidence from the Neandertal and modern lineages*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 100 (26): 15335-15340.

Coleman L. (2016) – *Afterword*. In: Heuvelmans B., *Neandertal. The Strange Saga of the Minnesota Iceman*. Anomalist Books, San Antonio/Charlottesville.

Collard M., Tarle L., Sandgathe D. & Allan A. (2016) – *Faunal evidence for a difference in clothing use between Neanderthals and early modern humans in Europe*. Journal of Anthropological Archaeology, 44 B: 235-246.

D'Amore G., Frederic P. & Vancata V. (2014) – *Encephalization in human evolution: a statistical approach*. https://www.academia.edu/36926688/Encephalization_in_human_evolution_a_statistical_approach

d'Errico F. & Chikhi L. (2019) – *La nascita delle culture umane*. Le Scienze, 609: 42-51.

Fishman J. (1992) – *Hard evidence*. Discover, 13 (2): 44-51.

Fondi R. (1999) – *Fratello Neandertal. Tre diverse interpretazioni dell'origine del genere umano*. Systema Naturae, 2: 7-54.

Fondi R. (2016) – *Il paradigma scientifico ufficiale è impotente a far luce sulle origini del genere umano*. Etrurianatura, 11: 78-95.

Gilligan I. (2007) – *Neanderthal Extinction and Modern Human Behaviour: The Role of Climatic Change and Clothing*. World Archaeology, 30 (4): 499-514.

Heuvelmans B. (1969) – *Note préliminaire sur un spécimen conservé dans glace, d'une forme inconnue d'Hominidé vivant: Homo pongoides (sp. seussubsp. nov)*. Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, 45 (4): 1-24.

Heuvelmans B. (1993) – *Le dossier des hommes sauvages et velus d'Eurasie*. 3^e Millénaire, 28: 44-55, 64-67; 29: 50-61.

Heuvelmans B. & Porchnev B.F. (1974) – *L'homme de Neandertal est toujours vivant*. Librairie Plon, Paris.

Hogenboom M. (2016) – *We did not invent clothes imply to stay warm*. <http://www.bbc.com/earth/story/20160919-the-real-origin-of-clothes>

Holden C. (1999) – *A new look into Neandertals noses*. Science, 285: 31-32.

Johansson S. (2013) – *The Talking Neanderthals: What Do Fossils, Genetics, and Archaeology Say?* Biolinguistics, 7: 35-74.

Karakostis A., Hotz G., Tourloukis V. & Harvati K. (2018) – *Evidence for precision grasping in Neandertal daily activities*. Science Advances, 4: eaat 2369.

Klein R.G. (1989) – *The Human Career. Human Biological and Cultural Origins*. The University of Chicago Press, Chicago (tr. it.: *Il cammino dell'uomo. Antropologia culturale e biologica*. Zanichelli, Bologna 1995).

- Lepre C.J., Roche H., Kent D.V., Harmand S., Quinn R.L., Brugal J.-P., Texier P.-J., Lenoble A. & Feibel C.S. (2011) – *An earlier origin for the Acheulian*. *Nature*, 477: 82-85.
- Lombard M. (2005) – *Evidence of hunting and hafting during the Middle Stone Age at Sibudu Cave, Kwa Zulu-Natal, South Africa: a multianalytical approach*. *Journal Human Evolution*, 48 (3): 279-300.
- Lombard M. (2006) – *Direct evidence for the use of ochre in the hafting technology of Middle Stone Age tools from Sibudu Cave*. *Southern African Humanities*, 18 (1): 57-67.
- Marshack A. (1988) – *An Ice Age Ancestor?* *National Geographic*, 174: 478-481.
- Mauduit J.A. (1954) – *Quarante mille ans d'art moderne*. Librairie Plon, Paris.
- Mazza P.P.A., Martini M.F., Sala B., Magi M., Colombini M.P., Giachi G., Landucci F., Lemorini C., Modugno F. & Ribechini E. (2006) – *A new Paleolithic discovery: tar-hafted stone tools in a European Mid-Pleistocene bone-bearing bed*. *Journal of Archaeological Science*, 33: 1310-1318.
- Meldolesi A. (2013) – *Il Neanderthal che c'è in te*. *Le Scienze*, 539: 60-67.
- Palmer D. (2000) – *Neanderthal*. Macmillan Publishers, London.
- Ranzi C. (1982) – *Homo settanta milioni di anni fa*. Rizzoli, Milano.
- Roebroeks W. & Soressi M. (2016) – *Neandertals revised*. *PNAS*, 113 (23): 6372-6379.
- Rossi L. (2008) – *Gli ultimi Neanderthal. Almas, yeti e uomini selvatici tra mito e realtà*. The Boopen Editore, Napoli. www.cripto-zoo.com
- Sobotta J. & Becher H. (1969) – *Atlante di Anatomia descrittiva dell'uomo*. USES (Utet – Sansoni Edizioni Scientifiche), Firenze.
- Sørensen B. (2009) – *Energy Use by Eem Neanderthals*. *Journal of Archaeological Science*, doi: 10.1016/j.jas.2009.06.003.
- Soressi M., Mc Pherron S.P., Lenoir M., Dogandzic T., Goldberg P., Jacobs Z., Maignot Y., Martisius N.L., Miller C.E., Rendu W., Richards M., Skinner M.M., Steele T.E., Talamo S. & Texier J.-P. (2013) – *Neandertals made the first specialized bone tools in Europe*. *PNAS*, 110 (35): 14186-14190.
- Stringer C. & Gamble C. (1993) – *In Search of the Neanderthals*. Thames and Hudson, London.
- Sutherland A. (2015) – *Incredible Mammoth Ivory Male Head from Dolní Vestonice, Czech Dated to 26,000 BC*. AncientPages.com/2015/06/23.
- Tattersall I. (2017) – *The Thinking Primate / Il primate pensante*. Forum Editrice Universitaria Udinese.
- Wales N. (2012) – *Modeling Neanderthal clothing using ethnographic analogues*. *Journal of Human Evolution*, 63 (6): 781-795.
- Wilkins J., Schoville B.J., Brown K.S. & Chazan M. (2012) – *Evidence for Early Hafted Hunting Technology*. *Science*, 338 (6109): 942.

Orizzonti



Foto di Giovanni Bencini

Il parco minerario delle Cetine di Cotorniano: utopia o realtà?

Alessandro Masotti

Viale della Miniera, 55 - 58024 Massa Marittima (GR)
alessandromasotti1@virgilio.it

Introduzione

Nonostante sia chiusa dal 1948, la miniera di antimonio delle Cetine di Cotorniano (Comune di Chiusdino, SI) continua a suscitare un notevole interesse per la presenza di numerose specie minerali (almeno 85 sono quelle più note), alcune delle quali rare. Inoltre, negli ultimi decenni molte sono le pubblicazioni di autori italiani e stranieri che ne hanno evidenziato gli aspetti più significativi dal punto di vista mineralogico e giacimentologico. Preme sottolineare, ancora, che la miniera detiene in sé anche un patrimonio culturale, contrastato e talvolta doloroso, con radici piuttosto nitide nella memoria delle persone che lo hanno vissuto e non solo. E' stata proprio la consapevolezza di ciò che essa esprime, nel suo insieme, a convincere gli amministratori locali di finanziare un progetto finalizzato alla realizzazione di un parco minerario con fini turistici. Alla base di tale progetto, che vedeva la luce verso la metà degli anni '90 del secolo scorso, erano poste sia la messa in sicurezza di alcune gallerie (su differenti livelli) che il recupero dei resti di quella che era stata l'attività metallurgica; purtroppo, di tutti questi lavori fu portato a termine in quegli anni solo quello relativo alla galleria più superficiale (livello Bice). Dopo questa iniziativa la miniera entrò in uno stato di abbandono e ben presto fu dimenticata.

Scopo principale del presente articolo è quello di riprendere l'argomento e, sulla base della documentazione ufficiale, cercare di individuare i motivi che possono avere causato l'interruzione del pro-

getto; nel contempo, riaprire una speranza provando a proporre una possibile soluzione allo stesso.

Cenni geologici e giacimentologici

Dal punto di vista geologico, l'area delle Cetine è caratterizzata dalle seguenti unità:

- 1) Formazione del Verrucano (conglomerati e quarziti, Filladi di Boccheggiano) del Permico? - Trias
- 2) Calcare cavernoso (Serie toscana non metamorfica) del Trias superiore (Norico-Retico)
- 3) Argille con calcari Palombini, Argille e calcari (Complesso delle Liguridi) del Cretacico-Eocene.

Essa fa parte di un contesto di particolare complessità in quanto ricade al limite orientale di una vasta area di "denudamento tettonico", che dalla zona delle Colline Metallifere va fino alla Montagna Senese, dove le Liguridi si ritrovano a diretto contatto con i termini inferiori della serie toscana (Calcare cavernoso) o addirittura con il basamento (Serie ridotta). Da tempo tutto ciò è spiegato attraverso un'interpretazione "faldista" della copertura toscana, che giustifica gli assetti strutturali attualmente osservabili a scala di affioramento come il risultato di spostamenti di intere formazioni geologiche dal loro originario luogo di sedimentazione, con sostituzioni di copertura, sovrapposizioni e rovesciamenti di serie.

Per quanto riguarda il giacimento, c'è uniformità tra gli studiosi nel definirlo di origine idrotermica.



Fig. 1 - Cristalli di antimonite (lunghezza media di circa 4 cm).

le. La risalita di fluidi caldi, legata al magmatismo pliocenico e pleistocenico, è andata ad interessare il Calcere cavernoso provocando intensi fenomeni di silicizzazione nella parte brecciata (quarzite grigio scura) e deposizione di minerali. Relativamente all'antimonite si evidenzia che mostra un andamento irregolare, con zone di arricchimento (dove si presenta sotto forma di geodi, coccarde, filoncelli e noduli) alternate a zone sterili

L'attività mineraria

Fino all'apertura delle miniere della zona di Manciano (Tafone e Montauto), di Pereta e di S. Martino sul Fiora, quella delle Cetine era il punto di riferimento in Toscana per le mineralizzazioni ad antimonio (il minerale, presente come solfuro - Sb_2S_3 -, è denominato antimonite, stibina o stibnite; Fig. 1).

Lo sfruttamento industriale iniziò nel 1878 mediante gli scavi a cielo aperto che seguivano il contatto, con andamento Est-Ovest, fra gli scisti del Verrucano ed il Calcere cavernoso silicizzato. Nel 1886 si passò a lavori di coltivazione in sotterraneo che, come in altri casi all'epoca, erano condotti in modo da seguire le maggiori concentrazioni di minerale e non abbattere troppa roccia "sterile"; questo procedimento dava origine ad un reticolato di gallerie abbastanza irregolare e contorto (Fig. 2). L'arricchimento del *tout-venant* (miscela di mine-

rale e roccia come esce dalla miniera) cominciava con la cernita a mano; la frazione con almeno il 20% di antimonio (l'altra veniva scartata) passava poi ai forni "a liquazione", situati sui piazzali esterni della miniera, che ne portavano il contenuto al 40%; tale prodotto veniva poi inviato alla fonderia di Ponte del Rosaio (SI). Nei primi anni del novecento si registrò un notevole progresso che coinvolse sia l'aspetto puramente estrattivo, sia quello del trattamento; infatti, le coltivazioni iniziavano a farsi in una grande "cava" a gradoni, mentre il minerale povero, che prima era scartato, trovava utilizzo nei forni "a tino" dove tutto il solfuro veniva ossidato.

A seguito dell'immissione nel mercato da parte del Giappone di grosse quantità di minerale, il prezzo di questo si abbassò sensibilmente (da L. 3000 per tonnellata a L. 700). Non essendo più redditizia, nel 1906 la miniera interruppe le lavorazioni.

La produzione riprese nel 1915 ed è facile associare il fatto con lo scoppio della prima guerra mondiale, visto l'utilizzo dell'antimonio per tale evento. L'anno successivo la miniera impiegava già circa 70 operai. Il *tout-venant* proveniva sia dal sotterraneo che dagli scavi superficiali ed era tale da essere sufficiente ad alimentare la fonderia senese senza fare ricorso a minerale proveniente, come in precedenza avveniva, dalla Sardegna. La produzione era di circa 1500 tonnellate annue.

Con la fine della grande guerra diminuì anche la richiesta di antimonio e, quindi, nel 1919 avvenne una nuova chiusura della miniera.

Nel 1936 ripresero i lavori grazie ad una società del gruppo A.M.M.I. (Azienda Minerali Metallici Italiani), la quale progressivamente rimise in produzione sia i cantieri a cielo aperto che quelli sotterranei. Si arrivò ad una produzione di circa 2000 tonnellate all'anno, con un tenore medio in antimonio di circa il 9%. Questo tenore era legato al fatto che il minerale veniva trattato sul posto per mezzo di un forno di piccole dimensioni. Anche se con una progressiva tendenza alla diminuzione, la produzione continuò fino alla fine della seconda guerra mondiale, dopodiché la miniera fu chiusa definitivamente anche se rimase in manutenzione fino al 1948.

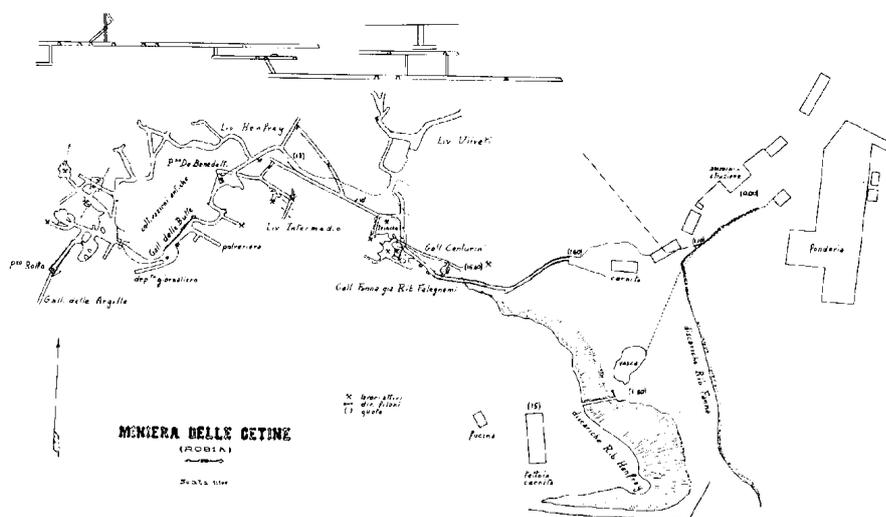


Fig. 2 - Piano minerario del 1916.

Lo stato dell'arte

Come è stato già accennato, l'area mineraria delle Cetine comprendeva una parte in sotterraneo dotata di gallerie su più piani ad andamento reticolare, nonché una parte esterna formata da una "cava a gradoni" (sul fianco sboccavano alcune delle gallerie), dagli impianti industriali, dalle discariche minerarie e dalla discarica metallurgica della fonderia. Di tutto questo patrimonio ne restano ancora oggi traccia e resti murari, per cui si può con ragione parlare di vera e propria archeologia industriale.

Verso la fine degli anni '90 del secolo scorso, la presenza di queste strutture e le vicende della popolazione locale ad esse collegate indussero l'Amministrazione Comunale di Chiusdino a farsi parte attiva per il recupero dell'intera area mineraria a scopo turistico e museale. Tale iniziativa era facilitata dal fatto che la miniera, essendo chiusa da circa mezzo secolo, non si trovava più sotto il vincolo di Concessione Mineraria; in altre parole, non doveva più seguire il regime prescrittivo del Corpo delle Miniere del MICA (Ministero dell'Industria, Commercio e Artigianato), Distretto di Grosseto (province di Grosseto e Siena), che avrebbe potuto imporre la segregazione definitiva degli accessi (in pratica la sua chiusura tombale). La situazione in essere, quindi, concedeva una certa libertà d'azione al soggetto promotore dell'iniziativa, pur non esimendolo dall'applicazione di norme basilari per la

sicurezza quali la realizzazione di cancelli in ferro a chiusura degli imbocchi. Ciò limitò almeno in parte la "libera circolazione" all'interno delle gallerie (la facile accessibilità al sotterraneo aveva favorito l'affluenza, incontrollata e disattenta, di studiosi e collezionisti) anche se, probabilmente, i più esperti continuarono ad accedervi attraverso passaggi a loro noti. Vennero organizzate perfino visite guidate, all'esterno e all'interno (Fig. 3), avvalendosi della consulenza scientifica dell'allora Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena.

A questo punto il Comune di Chiusdino affidò a due professionisti esterni, esperti del settore (uno dei quali era l'autore del presente articolo), l'incarico di predisporre un progetto per la messa in sicurezza statica ed il recupero di un percorso sotterraneo che avrebbe riguardato, del tutto o in parte, ben cinque livelli (Bice, Camerone, Henfrey, Intermedio alto e Intermedio basso; Fig. 4). Prima di redigere il progetto fu effettuato uno studio geominerario che comprendeva rilievi topografici di dettaglio e indagini geofisiche puntuali; queste ultime, in particolare, erano finalizzate a definire le condizioni di stabilità dei pilastri di sostegno e delle "solette" (diaframmi di roccia che separano un livello dall'altro), nonché il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, la presenza di eventuali cavità non note e la localizzazione di possibili anomalie di natura geomeccanica. Il Calcare cavernoso, esplorato fino al contatto di tetto con il flysch alloctono ligure e a quello di letto con le filladi del Verrucano, risultò

interessato dal giacimento di antimonite nella sola porzione intensamente silicizzata; questo, del resto, era già noto nella letteratura mineraria. Le condizioni generali di stabilità della porzione scavata ai fini produttivi non erano da considerarsi critiche in quanto la roccia, per la maggior parte una breccia a elementi di grosse dimensioni, aveva subito un'azione di parziale cementazione a causa di fenomeni di idrotermali, con circolazione di fluidi e deposizione

di minerali secondari. Furono comunque rilevate nell'ammasso roccioso zone di "debolezza" dovute a una serie di disturbi tettonici sub-paralleli (diretti NW-SE o WNW-ESE, con immersione verso nord sui $60^\circ - 70^\circ$ o verticali) e alla probabile presenza di vecchie "ripiene" minerarie (riempimento dei vuoti di coltivazione con materiale litoide sciolto per evitare, o limitare, franamenti in miniera o in superficie). Al livello Henfrey, nella traversa di cir-

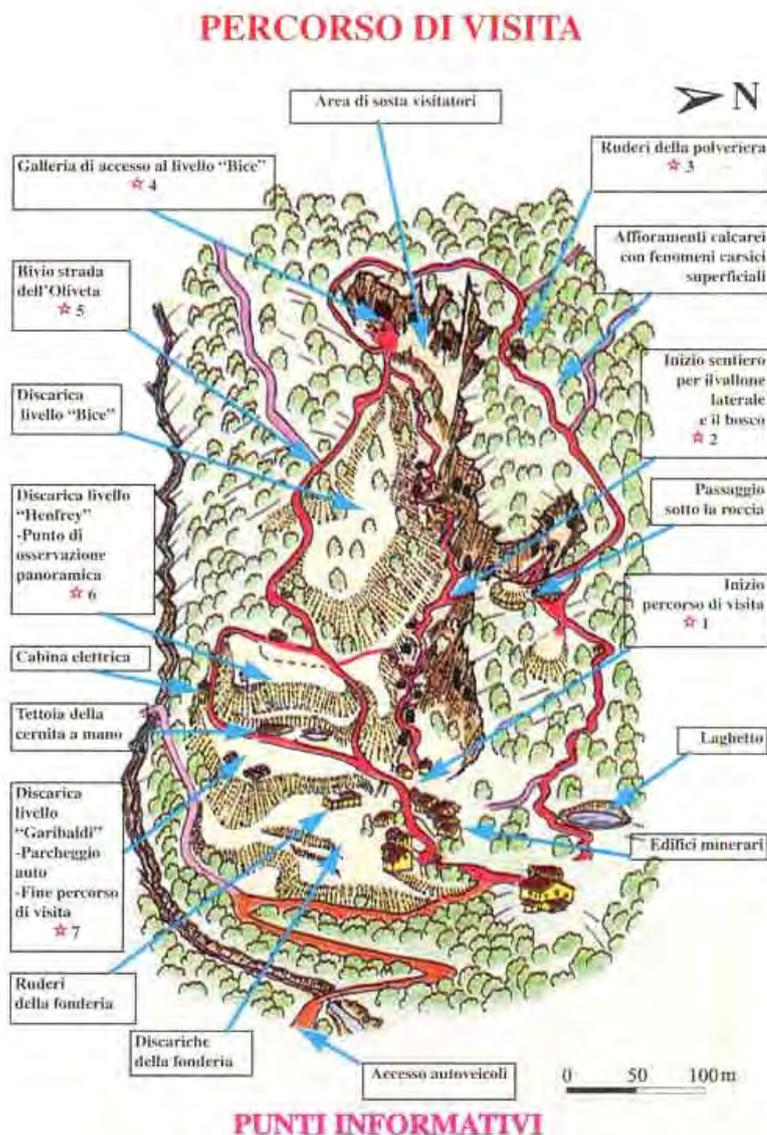


Fig. 3 - Itinerario di visita proposto

- | | |
|---|----------------------------------|
| ☆ 1 Informazioni generali e storia della miniera | ☆ 4 La geologia della miniera |
| ☆ 2 Sezione geologica della miniera | ☆ 5 I minerali della Cetine |
| ☆ 3 Vita del bosco, edifici minerari e fenomeni carsici | ☆ 6 Descrizione vista panoramica |
| | ☆ 7 Gli edifici minerari |



Fig. 4 - Tratti di gallerie oggetto del progetto originario di messa in sicurezza. In giallo: Livello Bice. In verde: Livello Henfrey. In blu: Livello Intermedio basso. Linea arancione: galleria ispezionabile.

ca 25 metri (con direzione SSO) che conduce al pozzo Rolfo, l'instabilità veniva evidenziata anche dall'armatura con quadri in legno; le "gambe" e i "cappelli" della stessa armatura, di 10-15 centimetri di diametro, risultavano infatti letteralmente schiantati dalla pressione delle argilliti soprastanti (peraltro le condizioni non potevano neanche definirsi stabilizzate perché, facendo il confronto con una foto della traversa pubblicata una quindicina di anni prima, si osservava una progressione nella deformazione dei quadri in legno). Potenziali pericoli di instabilità venivano ravvisati, infine, nello sviluppo poco razionale (se paragonato ai metodi moderni) delle gallerie e dei vuoti, nelle coltivazioni "a rapina" rivolte anche ai pilastri di sostegno (ultima fase di attività mineraria), nel prelievo indiscriminato di minerali dagli stessi pilastri effettuato da vari cercatori.

Una situazione come quella descritta prevedeva opere piuttosto impegnative ed onerose; fra l'altro, i lavori da sostenersi erano quasi del tutto di tipo manuale per l'impossibilità di introdurre nelle gallerie (in particolare in quelle al di sotto del livello Bice) mezzi meccanici anche di piccole dimensioni.

Fu deciso, quindi, di indirizzare il progetto solamente verso ciò che presentava le minori difficoltà di intervento: il livello Bice, direttamente accessibile dall'esterno (Fig. 5) e con le migliori condizioni statiche, ed il piazzale antistante.

I lavori previsti nello stralcio progettuale, che avrebbero comunque permesso visite guidate, furono eseguiti quasi integralmente; poi, tutte le iniziative prese caddero nel nulla. Sui motivi che causarono tale abbandono e sulla sospensione a tempo indeterminato della implementazione della rimanente parte del progetto non si hanno notizie precise; si ritiene, però, poco plausibile una sorta di "ripensamento" da parte di chi si era fatto promotore dell'iniziativa o da parte del soggetto finanziatore.

A questo punto merita evidenziare che un parco/museo minerario aperto alle visite deve in primo luogo soddisfare un criterio di sicurezza, dove per sicurezza non è da intendersi soltanto quella relativa alla staticità delle gallerie e dei percorsi esterni ma anche quella ambientale. Riguardo a quest'ultimo aspetto basta citare il notevole impatto esercitato dalle discariche minerarie presenti nell'area (Fig. 3); l'azione incessante delle acque meteoriche, infatti, diffonde in forma ionica grande quantità di metalli pesanti e di frazioni minerali fini (fra l'altro, il problema è particolarmente evidente nelle miniere di solfuri).

Bonifiche ambientali e miniere

Nel 1993 la Regione Toscana approvava il Piano Regionale di Bonifica delle Aree Inquinare (Legge 29/93 e successiva delibera del 20 Aprile 1993 n°167), che seguiva il censimento ed una prima classificazione del rischio di tutti i siti potenzialmente contaminati; in tale contesto, rientravano anche le aree interessate da attività minerarie e metallurgiche, in corso o dismesse. In conseguenza dell'applicazione delle citate normative, la Delibera n. 166 del 22/02/1999 inseriva il sito minerario delle Cetine di Cotorniano (Codice Regionale SI073) fra quelli "con necessità di approfondimento".



Fig. 5 Ingresso della miniera al livello Bice.

Si ha ragione di ritenere che l'approfondimento ci sia poi stato perché nel "Piano Provinciale di bonifica delle aree inquinate", emesso dall'Amministrazione Provinciale di Siena il 31/03/2006 ed elaborato ai sensi delle norme regionali vigenti (L.R. 25/98 e successive modifiche ed integrazioni D.C.R. 384/99 e D.P.G.R. 14R/2004) e della normativa nazionale specifica (D. Lgs. 22/97 - Decreto Ronchi - e DM 471/99), le Cetine figurano nell'anagrafe dei siti da bonificare con priorità "a breve termine" (Codice Provinciale SI030). A pagina 24 del suddetto piano si legge: *"Sono classificati a breve termine quei siti per i quali la Regione Toscana ha verificato un danno ambientale in atto e valutata la necessità di provvedere al più presto alla bonifica delle aree indicando tali siti nell'allegato 2 al proprio piano regionale e definendoli appunto a breve termine. Ai sensi del disposto del Piano Regionale e degli artt. 13 e 20 della L.R. 25/98 sussiste l'obbligo di procedere alla presentazione del progetto di bonifica o di messa in sicurezza dei siti classificati a breve termine... (omissis)..."*.

Nella colonna relativa allo stato del procedimento compare la dicitura "stipulato accordo di programma", mentre nell'allegato 1 del medesimo piano, alla pagina 5, viene indicato che il sito rientra nella categoria D, quella con costi previsti per la bonifica superiori a 500.000. Infine, nell'Allegato 3, "Ipotesi di intervento e stima dei volumi e dei costi originati dai siti dell'anagrafe", viene indicato il tipo di intervento ("messa in sicurezza permanente e ripristino ambientale") nonché l'ipotesi di intervento, che è l'asportazione e messa in sicurezza. Il costo

stimato della bonifica è di 750.000 e il materiale da inviare a discarica ammonta a 60.000 metri cubi.

Se l'iter relativo alla creazione di un parco minerario alle Cetine di Cotorniano è stato interrotto per motivi legati all'aspetto bonifiche, appare a prima vista chiaro che la chiave per poterlo riattivare dovrebbe passare attraverso l'applicazione della normativa in materia di bonifica di siti inquinati, introdotta con l'art.17 del citato D. Lgs. 22/97, successivamente completata ed attuata dal DM 471/99 e poi modificata dal D. Lgs. 152/06.

Il Geosito

Nell'ottobre 2006 è stata stipulata una convenzione, fra l'Amministrazione Provinciale e il Dipartimento di Scienze della Terra, per l'esecuzione del progetto di ricerca intitolato "I Geositi della Provincia di Siena". Nella Relazione Finale dello stesso progetto, datata 22 ottobre 2007, la miniera delle Cetine è stata catalogata come Geosito di Interesse Regionale (GIR18). Questo inserimento doveva andare ad integrare il quadro conoscitivo del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTC). In effetti nel portale internet di detta amministrazione, con data 13 ottobre 2013, è riportata la notizia: *"16 realtà in Provincia di Siena candidate a essere Geositi di importanza regionale"*. Più avanti si spiega che le proposte sono state avanzate tenuto conto del *"carattere rappresentativo del sito nell'intero territorio provinciale e dell'unicità dell'elemento individuato"*.

Occorrerebbe chiarire l'apparente incongruenza che vede la miniera delle Cetine collocata fra i siti inquinati da bonificare a breve termine e, contemporaneamente, essere candidata a ricevere flussi di visitatori come geosito significativo della Regione Toscana.

Il Parco/Museo?

Quando un sito è inserito nell'elenco ufficiale di quelli da bonificare (in questo caso con procedura

a breve termine), le fasi progettuali e quella pratica degli interventi dovrebbero essere espletate indipendentemente dal fatto che si voglia o no realizzarvi un parco/museo. Ai sensi delle normative citate nei paragrafi precedenti, un progetto di bonifica deve articolarsi secondo le seguenti fasi di approfondimento: prima il Piano di Caratterizzazione, poi il Progetto Preliminare e infine il Progetto Definitivo; ognuna di queste fasi necessita dell'approvazione da parte delle autorità competenti di dettagliati elaborati tecnici. Il Piano di Caratterizzazione comprende un Piano di Investigazione, un'Indagine preliminare, un Modello Concettuale Preliminare, un Piano di Caratterizzazione in senso stretto e un Modello Concettuale Definitivo; il Progetto Preliminare, redatto sulla base dei risultati della prima fase, propone interventi, tempi e costi previsti, e può contenere un'Analisi di Rischio; il Progetto Definitivo esprime in dettaglio gli interventi da eseguire con i relativi tempi e costi, nonché il piano di monitoraggio. Gli interventi di bonifica (o messa in sicurezza, a seconda della soluzione scelta) divengono operativi solo dopo che il monitoraggio di controllo (di norma dura alcuni anni) ha espresso risultati soddisfacenti; a questo punto potrà essere rilasciata la "Certificazione di Avvenuta Bonifica" e il sito sarà reso disponibile, con o senza prescrizioni e limitazioni. L'eventuale realizzazione di un Parco Minerario alle Cetine dovrebbe, quindi, essere successiva a tutto ciò.

Al momento non è dato sapere in quale fase dell'iter di bonifica la miniera si trova; sappiamo

solo che nel sito internet di ARPAT, sezione Bonifica Siti Contaminati, la "Miniera Antimonio Le Cetine, Loc. Cetine, (SI) Chiusdino" è tuttora presente alla pagina SIRA (Sistema Informativo Regionale Ambientale). Da notare, inoltre, che il Piano Provinciale indica la località ma non sembra specificare esattamente quali siano i singoli "oggetti" da bonificare, come invece si verifica in altri siti minerari della provincia di Grosseto. Ragioni scientifiche e tecniche, comunque, vorrebbero che l'intervento riguardasse esclusivamente le discariche esterne e il fronte di coltivazione a cielo aperto, cioè le due fonti di possibile contaminazione ambientale (si veda anche in precedenza). Partendo da questi presupposti e considerando che il complesso delle gallerie non è interessato da circolazione d'acqua, potrebbe ancora esistere la possibilità di realizzare in tempi non troppo lunghi almeno una struttura museale (svincolandola dalla tematica ambientale). Tale struttura potrebbe basarsi sulla riutilizzazione della galleria Bice, dove sono già state eseguite quasi tutte le opere previste nel progetto di messa in sicurezza e dove sarebbero necessari solo alcuni interventi integrativi (Figg. 6-9). Inoltre, essa è dotata di un doppio accesso di cui uno da un piazzale esterno facilmente raggiungibile. Disporre anche del solo livello Bice consentirebbe, fra l'altro, sia l'osservazione di interessanti fenomeni di dissoluzione, brecciatura, ricircolazione e deposizione di minerali (Figg. 10-11), sia alcune riflessioni sulle tecniche minerarie utilizzate; tutti aspetti di sicuro valore didattico - scientifico, che potrebbero far partire (dopo un ovvio ripristino



Fig. 6 - Centine in ferro con montante centrale, rete e bulloni "in corona".



Fig. 7 - Ringhiera di protezione in cls e cavi, "butte" in ferro a sostegno della volta.



Fig. 8 - "Butte" in legno, rete e bulloni in "corona".

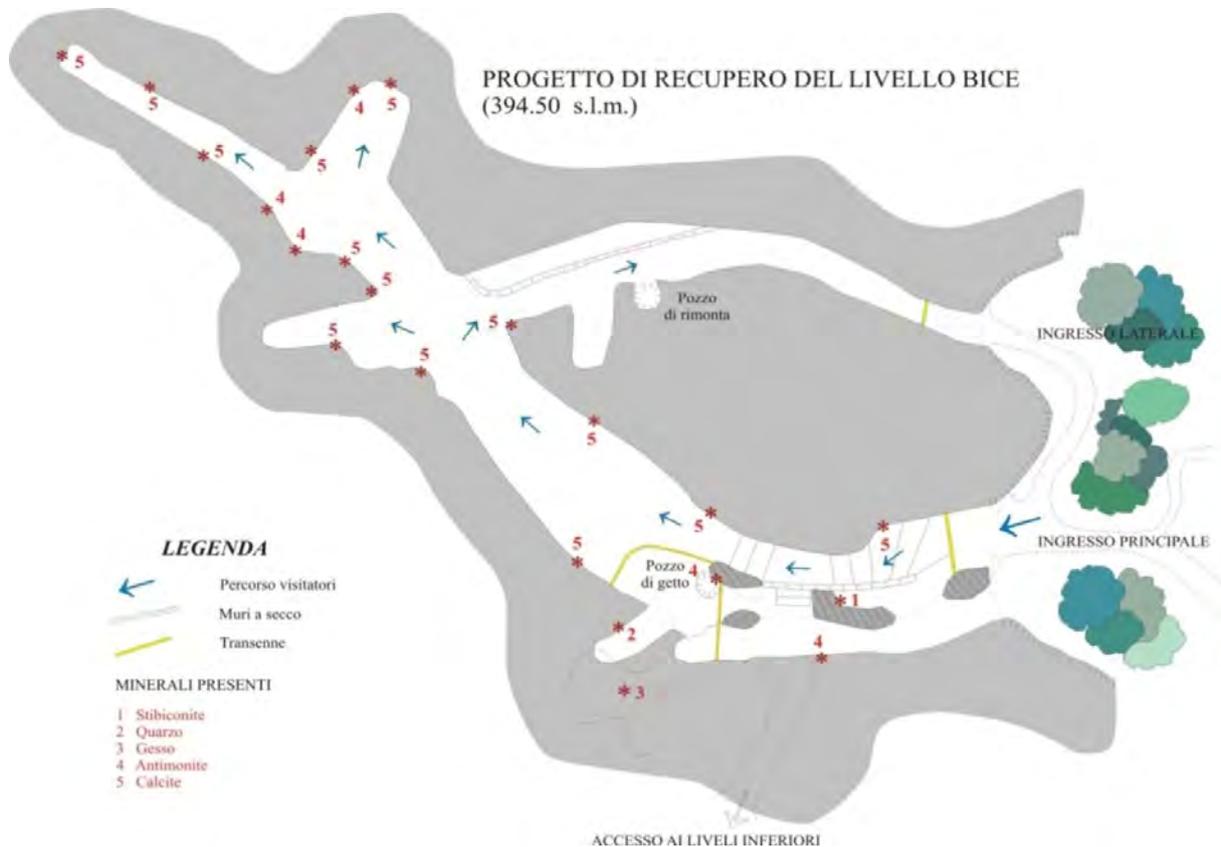


Fig. 9 - Planimetria della galleria Bice ed elenco dei lavori previsti e in buona parte già eseguiti.

PIAZZALE D'INGRESSO

1. Rimozione detriti, decespugliamento, disaggio;
2. Realizzazione di un gradone intermedio mediante uso di esplosivo (wagon drill); in alternativa chiodatura diffusa con chiodi da m. 3. Superficie di intervento (h x l) = m 10 x 20.

LIVELLO BICE – GALLERIA PRINCIPALE

1. Smussatura “mammellone” roccioso in prossimità dell'ingresso;
2. Realizzazione di piano inclinato (a doppia pendenza) per permettere l'ingresso di un piccolo mezzo meccanico (tipo “Bobcat”);
3. Chiodatura con rete elettrosaldata nella camera di ingresso e nella gallerietta in alto a sinistra;
4. Rifacimento ringhiera;
5. Messa in posto di una serie di “butte” (h = m 3 ÷ 4) per contrastare il tetto (fino alla prima crociera), con funzione anche di montanti per la ringhiera di cui sopra;

6. Chiodatura da m 3,00 (uno ogni 2 m) lungo la faglia (da letto verso tetto);
7. Nell'ultimo tratto della galleria: solo disaggio;
8. Messa in opera di chiodi e rete elettrosaldata nella zona della cavità di dissoluzione;
9. Messa in opera di butte nelle crociere;
10. Rimozione manuale dei detriti;
11. Messa in opera di una ringhiera per segregare le traversa di fronte a quella di uscita.

LIVELLO BICE – TRAVERSA DI USCITA

1. Pulizia del fondo (ipotizzato uno spessore di cm 30 di detriti)
2. Messa in opera di alcune “butte” accanto al muro a secco;
3. Realizzazione di uno “sbasso” dove la galleria si abbassa;
4. Messa in opera di una ringhiera per segregare il fornello diretto verso l'alto



Fig. 10 - Tessitura a coccarda.



Fig. 11 - Filoncello di antimonite

dei sentieri e della cartellonistica) visite guidate per amatori, studiosi, scuole e quant'altro.

Anche se un secondo lotto esteso alla parte rimanente del percorso sotterraneo e previsto nell'originario progetto di messa in sicurezza potrebbe far raggiungere al sito delle Cetine alti livelli nel settore turistico, al momento potrebbe essere già soddisfacente fermarsi a questa propo-

sta. Per le discariche minerarie e metallurgiche, tanto interessanti sotto l'aspetto scientifico e collezionistico ma soggette sicuramente a bonifica, si dovrà invece seguire l'iter di legge; magari in fase progettuale potrebbe essere richiesto un intervento che, pur impedendo il rilascio di inquinanti, le conservasse almeno in parte disponibili per osservazioni e campionature.

Testi citati

Amministrazione Provinciale di Siena - Servizio Ambiente (2006) - *Piano Provinciale di bonifica delle aree inquinate*. L. R. 25/98 art. 11- Relazione Generale.

Batoni M. & Menchetti S. (2017) - *Le Cetine di Cotorniano*. Miniera & minerali.

Brizzi G., Ciselli I. & Santucci A. (1988) - *Cetineite e altre novità dalle Cetine di Cotorniano (Siena)*. Riv. Mineralogica It., 3.

Corpo delle Miniere, Distretti di FI e GR (1879 - 1949) - *Rapporti annuali sulle ricerche, miniere e fonderie d'antimonio*.

D'Achiardi G. (1901) - *Cenni sui minerali della miniera di antimonio delle Cetine di Cotorniano*. Processi verbali della Società Toscana di Scienze Naturali, 12.

DBGM (1900 - 1993) - *Database Geologico Minerario By CGT*. <http://www.neogeo.unisi.it>

Decreto Legislativo n. 152 (2006) - *Norme in materia ambientale*. G.U. n. 88 del 14-04-2006.

Decreto Ministeriale n. 471 (1999) - *Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legisla-*

tivo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni. Gazzetta Ufficiale n. 293 del 15-12-1999 (Supplemento Ordinario n. 218).

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - *Siti contaminati: Caratterizzazione, Bonifica e Analisi di Rischio*.

Legge Regione Toscana n. 29 (1993) - *Criteri di utilizzo di aree inquinate soggette a bonifica*. Bollettino Ufficiale n. 30, parte prima.

Legge Regione Toscana n. 29, decreto 167 (1993) - *Piano regionale di bonifica delle aree inquinate della Regione Toscana*.

Legge Regione Toscana n. 25 (1998) - *Norme per la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati*. Bollettino Ufficiale n. 19, parte prima.

Pelloux A. (1901) - *Appunti sopra alcuni minerali delle Cetine di Cotorniano presso Rosia (in provincia di Siena)*. Atti della Reale Accademia dei Lincei, Serie V, Rendiconti.

Sabelli C. & Brizzi G. (1984) - *Alteration minerals of the Cetine mine, Tuscany Italy*. Mineralogical Record, 1(2): 27-36.

SIRA. ARPAT. SISBON - *Sistema Informativo Siti Interessati da Procedimento di Bonifica*. <http://sira.arpato.toscana.it/apex/f?p=SISBON:REPORT:0#>

La parola all'immagine



Foto di Giovanni Bencini

Il mondo palustre non ospita solo zanzare ...

Giovanni Bencini

Viale Europa, comparto "I Pini", 42 - 58022 Follonica (GR)



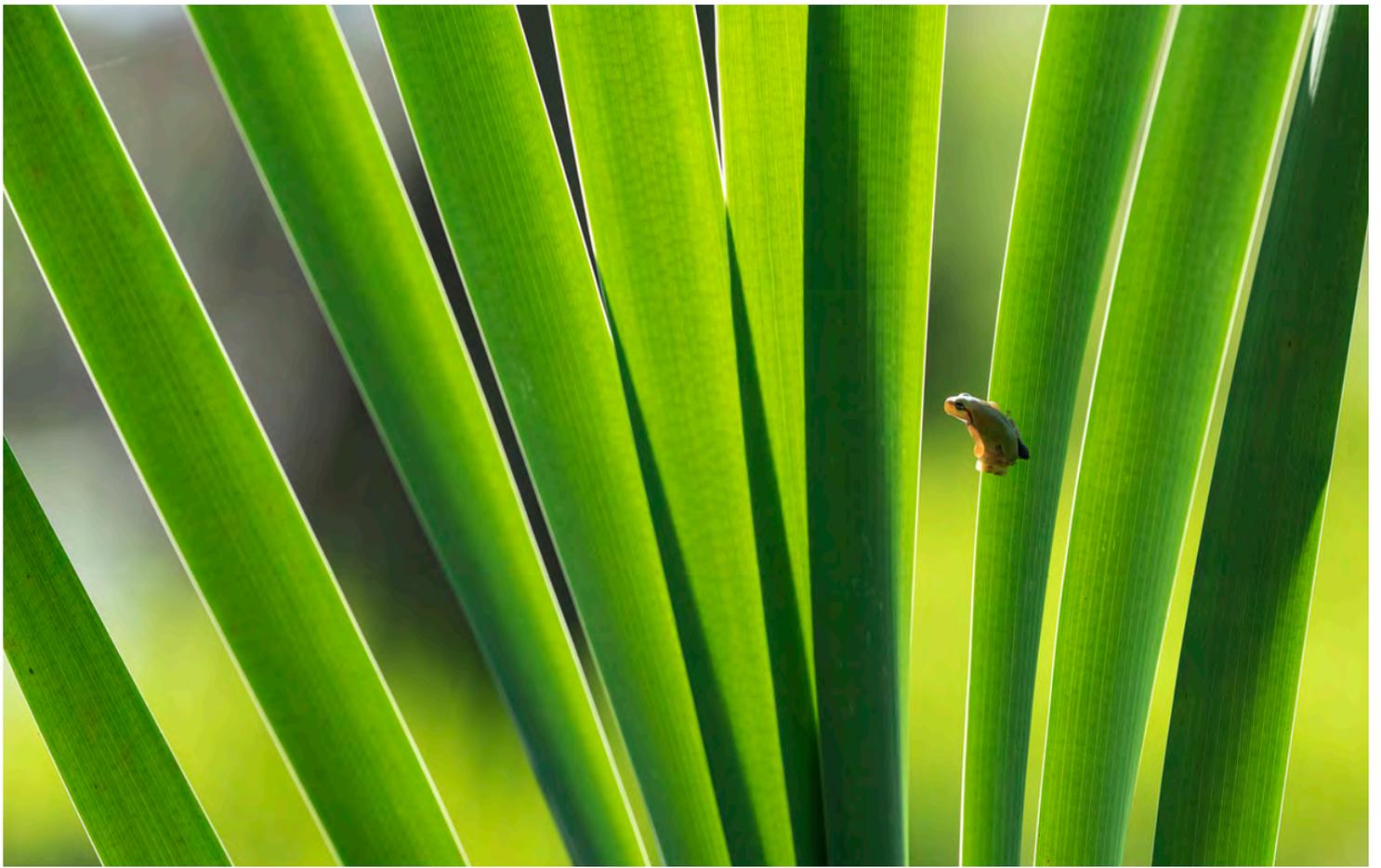












Io, il lettore

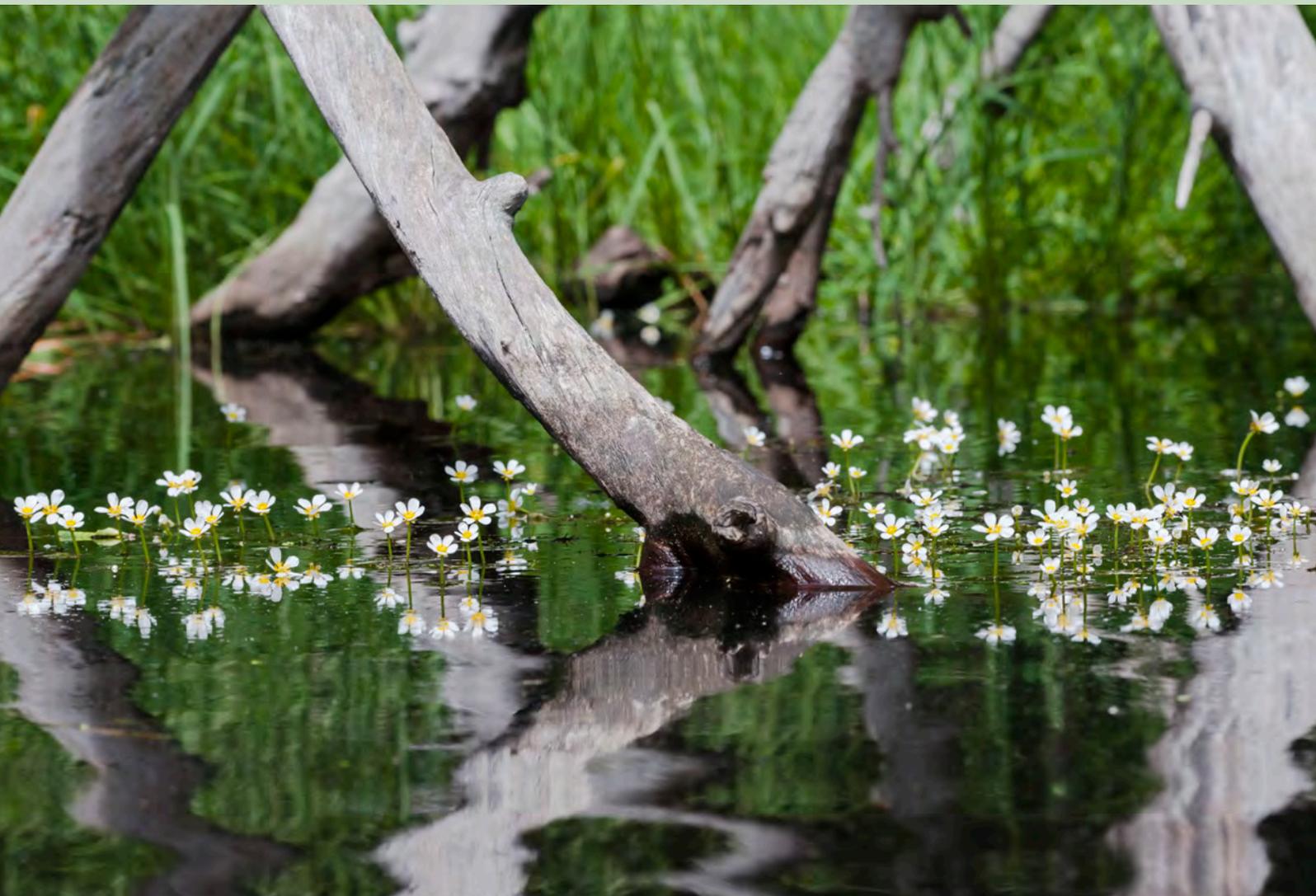


Foto di Giovanni Bencini

Quando la Natura diviene Poesia

Marta Luciana Giovannoli

Accademia dei Fisiocritici, Museo di Storia Naturale, Piazzetta Silvio Gigli 2, 53100 Siena
martalucianagiovannoli@gmail.com

Tra le rovine Etrusche

Le ginestre mi indicano un cammino di luce.
Risalgo il passato, verde collina che ascende
verso l'infinito del cielo e della storia.

Mura sorgono improvvisate - grigi bagliori tra l'erba -
incorporee visioni trapassate da raggi ma gravi di
ricordi.

Magicamente nel vento prendono vita
e svelano agli occhi incantati il loro eterno mistero.

Sotto gli olivi
placidi pascolano antichi animali.

Ispirata dalla visita a Roselle.

Alpi Apuane

Lo sgomento mi assale.

Nate un giorno lontano dal corruccio della terra
infocata,
ora posano, quiete.
Il silenzio le incorona.

Come un atomo inquieto,
cerco di imprimere la mutevole eternità nella mente
che si slancia,
attratta dall'abisso infinito.

Al di sopra delle ombre del dolore,
sulle cime tuffate in un cielo remoto,
brilla una luminosa serenità,
riflessa dal luccicante mistero marino,
nella lontananza che svanisce.

Versilia, d'estate

Nel vento

Nel vento affiderò la mia vita per illudermi mondi
lontani,
nel vento cavalcherò i miei sogni oltre l'orizzonte
nebbioso,
nel vento inseguirò i gabbiani per cercare risposte,
nel vento sfiderò la tempesta per correre dietro
chimere,
nel vento libera volerò per afferrare speranze fuggenti,
nel vento giungerò sulla vetta dove fiorisce la luce.

D'inverno, durante una tempesta

L'albero schiantato

Nel sentiero,
una bianca barriera si erge:
l'albero non lancia più nel vento petali al sole,
ma stroncato si adagia sul rovo che gemma.

Contro il giallo fusto spezzato
invano si getta il bianco baleno di un arbusto fiorito,
inclinato dal vento ad offrire la vita.

Dietro la collina sorgono nuvole.
Cerco segni di speranza.

Contro il cielo segnato di nubi mosse in alto dal sole
al tramonto,
gemme catturano musica,
contro il verde nuovo vivo di luce,
violette sussurrano musica.

*Fine di febbraio, lungo il sentiero della vecchia ferrovia,
sopra la Stazione di Siena, davanti ad un susino fiorito caduto.*

Vorrei

Vorrei essere laggiù,
dove una lama sconosciuta ha tagliato le nuvole,
e dietro piove ancora un raggio di sole.

Lì non c'è colore,
ma solo luce, serenità che mi inonda.

Libero lo spirito dall'angoscia di vivere,
e mi lancio nell'infinito.

Durante un viaggio, guidando la macchina

Fiore nella nebbia

Lentamente, si adagia su un oscuro mondo invernale.
Ci avvolge in un pesante grigiore, nasconde il cielo
remoto, invano a lungo cercato.

S'innalza appena, libera il roseo colore di una pianta
fiorita, dolcemente ondeggiante.

Guarda,
anche dalla nebbia può nascere un fiore.

*Sassifraga davanti al Bancone della Biblioteca
del Circolo Giuridico, Chiostro di S. Francesco.
Dedicata all'amica Lorenza, che aveva subito un lutto.*

Sorridi

Sorridi alla pioggia che cade.
Dopo che il cielo lacrime ti avrà dato,
il sole bagnato sorgente da nubi svanite scaldereà le
tue lacrime,
o uomo mai sazio di pianto.

Sorridi a quel trillo vicino:
la gioia nascosta tra il verde
fa nascere gioia, se ascolti.

Sorridi all'albero antico che sempre rinasce di fiori
e dal tronco contorto di rughe sprigiona la vita.

Tu pure, stanco di lotte e di gelo,
gemmerai fiori dal tuo antico dolore.

All'inizio dell'estate, in un bosco.

Saette

Ieri, le lucciole accendevano stelle sull'erba.

Oggi non più.

Fruste abbaglianti squarciano l'aria, che ne trema,
legano la terra ad un cielo, che dicono vicino.

Ma oltre?

Afferro una scala che proietta luce,
e mi arrampico.

Durante un temporale estivo.

Ho bisogno di illusioni

Gocce sulla terra arida di sete,
lampi di luce nel tunnel della vita,
polvere verde sugli alberi morti,
sorriso di amico verso un volto dolente,
canto allegro nel mattino fiorito,
magia rosa di pesco rinato,
musica di rami nel vento impetuoso,

ho bisogno di illusioni.

*Una mattina, mentre entravo al lavoro
nella Biblioteca del Circolo Giuridico
ho sentito cantare.*

Passeggiata in primavera

Vago nel nulla pieno di verde e di canti.
La ripida salita mi innalza verso una macchia di alberi
tremula delle incantevoli promesse di nuove vite.
Foglie e uccelli innalzano insieme, al tocco del vento,
gioiose melodie.

Mi annullo nella natura e ne avverto il rombo
creatore:
esplode nella gemma di una vite,
si incarna nella magia di un fiore che racchiude la
certezza del frutto,
porta a perfezione il boccio di giaggiolo,
si acquieta nella misteriosa simmetria di una foglia
d'edera.

Di aprile in campagna, quando tutto si risveglia.

Magia di bimbo

Un soffio di vento risveglia il fragile verde del grano,
che si tende in un'ansia di libertà vanamente anelata,
quasi a sfuggire il seme che l'ha generato.
Sulle colline lontane cadono fasci di luce da una fonte
nascosta.

La natura attende, sospesa.
Lo spirito si acquieta e contempla.

Dal campo di secco sterpeto un bimbo mi guarda
ridendo.

Il miracolo avviene: sul pendio di luce più buia,
sotto gli alberi non ancora svegliati,
nell'abbraccio del rovo pungente,
si rivela la magia di un prato di primule,
nate non dalle spente foglie abbandonate sul freddo
terreno,
ma dall'incanto del sorriso infantile.

Il velo delle nubi si dirada e soddisfa l'attesa del sole.

Oggi, ho provato l'armonia.

Marzo, campagna vicino a San Rocco a Pilli.

Impressioni all'alba

Il giorno che avanza risveglia i colori, sfavilla
nell'acqua.

Arditamente,
il primo raggio si avventa contro un vetro,
che balena diamanti.

Un'ala di luce palpita su un albero,
e ne trae la vita.
Voli di gioia affondano nell'immenso stagno di aria
lucente.

L'anima segue la luce, che mette in fuga
cupe immagini di fantasmi e di notte.

Mi specchio nell'infinito,
e ritrovo me stessa.

Alba di marzo.

Lungo la strada

Lungo la strada si scagliano arroganti,
ciechi, insensibili alla gemma, al fiore, al sole,
il cuore fasciato dall'arida armatura di metallo,
avidissimi di lotta e di vittoria, orgogliosi di potenza,

i signori del creato.

Lungo la strada,
carcasse arrugginite, contorte di violenza,
troppo tardi tese verso il sole che ormai non vedono più,
inutilmente urlano la sconfitta

dei signori del creato.

In viaggio nella Siena-Bettolle.

L'usignolo

Nel buio più profondo mi risveglia un canto di luce.
Proteso verso vette infinite da lui solo anelate,
incarna i miei sogni più belli.
Vibrante di gioia presaga dà voce all'attesa dell'alba.
Trionfa sulla notte che obbediente svanisce,
accende scintille di luce nel mio cuore e sugli alberi.
Per qualche momento incantato purifica il mondo dal
male.

E quando il giorno si avventa sulla terra tremante di
attesa
ed esplodono magiche melodie di esultante certezza e
gioioso saluto,
l'artefice di tanto splendore, sdegnoso, si acquieta.

Dalla mia camera, che si affaccia su un giardino.

Fantasie dell'anima

Ho posto nella notte la mia anima sulla cima
dell'albero più alto,
ed ha ricevuto per prima un vento di luce,

l'ho posta in primavera sul ramo del pesco fiorito,
e si è involata dietro le chimere,

l'ho posta sulla cresta dell'onda libera e selvaggia,
e si è lanciata verso il cielo,

l'ho posta sul petalo ardente di sole,
ed ha contemplato l'armonia.

In un buio dicembre, sognando...

Schede naturalistiche



Foto di Giovanni Bencini

Sulla Lepre italica: *Lepus corsicanus* de Winton, 1898

Giorgia Romeo

Regione Toscana, Settore Attività Faunistico-Venatorie, Via Trieste, 5 - 58100 Grosseto
giorgia.romeo@regione.toscana.it

La Lepre italica (*Lepus corsicanus* de Winton, 1898) è esteriormente simile alla Lepre comune o europea (*Lepus europaeus* Pallas, 1778), ma se ne distingue essenzialmente per la corporatura più slanciata. Rispetto a quelle della sua più nota “sorella” europea, infatti, le lunghezze del tratto “testa-corpo”, della coda, dei piedi posteriori e, soprattutto, delle orecchie sono maggiori, mentre il peso medio degli adulti è inferiore di circa 800 gr. Queste caratteristiche, riscontrabili dal livello del mare fino ad altitudini di 1.900 m sull’Appennino e di 2.400 m sull’Etna, potrebbero essere il risultato di un adattamento all’ambiente mediterraneo.

Malgrado nel 1898 il naturalista inglese William Edward de Winton avesse istituito come specie a sé stante la Lepre italica, in base ad alcuni caratteri morfologici esterni osservati in esemplari di collezioni museali europee e americane, per tutto il secolo scorso l’animale è stato generalmente interpretato come una sottospecie della Lepre comune per

la maggior parte estintasi in seguito ad ibridazione con esemplari di quest’ultima immessi a fini venatori. A partire comunque dalla metà degli anni ‘80 del secolo suddetto, con i lavori di Fernando Palacios (ricercatore presso il Museo di Storia Naturale di Madrid) sono ripresi gli studi sulla reale posizione sistematica delle lepri presenti in Italia. Studiando i reperti museali delle lepri raccolte prima che si diffondesse la pratica dei ripopolamenti a scopo venatorio, lo zoologo spagnolo ha dimostrato che gli esemplari originari dell’Italia centro-meridionale, tradizionalmente classificati come *Lepus europaeus corsicanus*, mostravano in realtà caratteristiche peculiari del cranio e del mantello, per cui era lecito considerarli appartenenti ad una specie a sé stante, come appunto aveva fatto de Winton nel 1898.

Alla fine degli anni ‘90, tenendo conto dei criteri di identificazione morfologica forniti da Palacios, l’INFS – attualmente ISPRA, Istituto Superiore per la Ricerca e l’Ambiente – iniziò a raccogliere



Fig. 1 - Lepre italica fotografata a Capalbio durante una sessione di cattura a scopo scientifico.

esemplari di lepre nell'Italia centro-meridionale per verificare se era ancora possibile, dopo decenni di immissioni di lepri comuni, trovare lepri italiane nel loro fenotipo originario e valutarne la variabilità genetica. La prima fase della ricerca consentì di ritrovare effettivamente in alcune località esemplari con le caratteristiche morfologiche descritte da Palacios e, cosa ancora più importante, l'assenza di individui con caratteristiche ibride anche nelle aree in cui le due forme di lagomorfi risultavano convivere. Successivamente è stato accertato che le stesse sono separate anche dal punto di vista genetico, tanto da ribadire l'opportunità di collocazione in taxa specifici distinti. Più in particolare, *L. corsicanus* è risultato maggiormente affine alla Lepre bianca (*L. timidus* Linnaeus, 1758) ed alle Lepri spagnole (*L. granatensis* Rosenhauer, 1856 e *L. castroviejoi* Palacios, 1976) che alla Lepre comune, mentre quest'ultima è più vicina alle Lepri africane (ad es. *L. capensis* Linnaeus, 1758, *L. habessinicus* Hemprich & Ehrenberg, 1832 e *L. starcki* Petter, 1963). È supponibile che la divergenza genetica tra questi due gruppi si sia verificata alla transizione fra il Pliocene ed il Pleistocene, cioè in concomitanza con l'insorgere di quei grandi cambiamenti climatici che culmineranno con il succedersi degli episodi glaciali: nel senso che gli avanzamenti e i ritiri dei fronti di ghiaccio potrebbero aver determinato l'isolamento delle popolazioni in aree di rifugio con clima mediterraneo dell'Europa meridionale. Ed in effetti è stato evidenziato come nella Sicilia, dove peraltro è ampiamente distribuita, *L. corsicanus* fosse l'unica specie di lagomorfo presente, mentre nell'Italia peninsulare risultasse reperibile soltanto in poche "isole", separate da un "mare" di lepri comuni derivanti da immissioni effettuate a scopo venatorio.

Fino agli anni '30 del secolo scorso, l'areale di distribuzione della Lepre italiana era considerato includente, oltre che la Sicilia e l'Italia centro-meridionale, anche la Corsica. Il suo limite settentrionale era fissato nell'Isola d'Elba sul versante tirrenico e nella provincia di Foggia su quello adriatico. Oggi come oggi, invece, si ritiene che l'isola francese, malgrado abbia ispirato la stessa denominazio-



Fig. 2 - Lepre italiana vista da dietro.

ne scientifica della specie, debba essere esclusa dal suddetto areale per il solo fatto che la Lepre italiana vi è stata introdotta unicamente in tempi storici, prima del XV secolo. Quanto agli esatti limiti settentrionali dell'areale, essi devono essere considerati tuttora in via di definizione. Le ricerche condotte nelle Isole d'Elba e di Pianosa hanno potuto accertarvi unicamente la presenza della Lepre europea; di recente, comunque, il Parco dell'Arcipelago Toscano, in collaborazione con l'ISPRA, ha inaugurato la messa in atto di un programma di reintroduzione della Lepre italiana nell'Isola d'Elba con soggetti forniti da un allevamento del Corpo Forestale di Lucca e provenienti dal comune di Barbarano Romano (Viterbo), e con una coppia di individui catturati nel comune di Capalbio (Grosseto).

Riconosciuta *L. corsicanus* come specie autoctona interamente italiana ed in quanto tale messa sotto protezione dal nostro sistema legislativo, considerandone il precario stato di conservazione per lo meno nella parte peninsulare del suo areale, nel 2001 è stato redatto uno specifico piano d'azione nazionale finalizzato ad individuarne e contrastarne i principali fattori di rischio. Questi ultimi possono essere indicati nei seguenti: isolamento di popolazioni di ridotte dimensioni; erosione dell'*habitat* idoneo; abbattimenti involontari durante la caccia alla Lepre europea; possibile competizione spaziale



Fig. 3 - Evidenti differenze nel colore del mantello fra la Lepre italiana (a sinistra) e la Lepre europea (a destra).



Fig. 4 - Differenze di colore nel pelo della coscia: rossiccio nella Lepre italiana (in alto); grigio nella Lepre europea (in basso).

ed alimentare con lepri europee immesse a scopo venatorio; trasmissione della sindrome emorragica dalla Lepre europea (EBHS), serbatoio epidemiologico dell'infezione virale. A parte le modificazioni ambientali con le conseguenti alterazioni degli habitat idonei, è un fatto che ogni anno decine di individui di Lepre italiana finiscono abbattuti dai cacciatori a causa della difficoltà da parte di questi ultimi di discriminarli sul campo: difficoltà per la quale diviene assai complicato applicare misure gestionali differenziate per le due specie.

La strategia di conservazione della Lepre italiana deve essere indirizzata alla protezione dei nuclei di essa ancora esistenti nella penisola, all'istituzione di nuove aree protette e alla riduzione dei fattori di rischio per la sua sopravvivenza: fattori che non escludono gli interventi di immissione della Lepre europea nelle sue aree di presenza anche potenziale. La situazione attuale di presenza simultanea delle due specie, infatti, è dovuta quasi esclusiva-

mente alla pratica dell'immissione annuale di migliaia di lepri europee: pratica che è iniziata negli anni '20 del secolo scorso e che ha raggiunto i livelli massimi tra il 1970 ed il 1980. Nonostante l'elevata mortalità delle lepri comuni immesse con i "ripopolamenti", queste sono riuscite a stabilire popolazioni vitali nell'Italia centro-meridionale, talvolta rimpiazzandovi completamente l'autoctona Lepre italiana per la quale non sono possibili interventi di reintroduzione a larga scala (allo stato attuale non esiste alcun allevamento commerciale di *L. corsicanus*). In Sicilia, nonostante vi siano state introdotte non meno di 30.000 lepri europee, la situazione risulta meno compromessa e maggiormente controllabile: fatto dovuto, con ogni probabilità, alle locali condizioni climatico-ambientali non propriamente favorevoli per la sopravvivenza di una specie come *L. europaeus* le cui origini sembra debbano indicarsi nelle steppe dell'Europa orientale.

Dopo quanto è stato detto risulta evidente come, per consentire la conservazione della Lepre italiana, sia necessario agire sulla gestione della Lepre comune abbandonando il criterio consumistico basato sui ripopolamenti, per passare ad un criterio di sostenibilità che preveda: 1) la conoscenza del territorio e della consistenza delle popolazioni in esso presenti; 2) la specializzazione del cacciatore; 3) l'istituzione di distretti per la caccia alla lepre; 4) la definizione di piani di abbattimento sostenibili; 5) l'individuazione di periodi di caccia che risultino compatibili con le fasi critiche del ciclo biologico della specie (accoppiamenti, riproduzione, svezzamento, cure parentali, ecc.). Va comunque sotto-

lineato che l'applicazione di questi provvedimenti ha sempre incontrato notevoli difficoltà, a causa in primo luogo dei forti interessi economici legati agli interventi di "ripopolamento".

La presenza contemporanea della Lepre italiana e della Lepre europea in molte zone centro-meridionali del nostro Paese pone un problema, oltre che sanitario, anche di possibili fenomeni di competizione interspecifica, sebbene non ancora indagati in modo approfondito. D'altra parte il fatto che la Lepre italiana consista nella massima parte del suo areale di popolazioni fortemente isolate e ridotte costituisce un elemento potenzialmente pericoloso per la loro sopravvivenza, in quanto suscettibile di indurre una diminuzione della loro variabilità genetica, un incremento di incroci tra membri dello stesso nucleo riproduttivo (*inbreeding*) e una riduzione dello stato di salute degli individui. Considerando quanto sopra, l'esercizio venatorio sulla Lepre comune nell'Italia peninsulare, soprattutto se non pianificato, non può che rappresentare un reale fattore limitante – cui deve poi essere aggiunto il "peso" del bracconaggio nelle stesse Zone di Ripopolamento e Cattura (ZRC) ed aree protette – per la ripresa e l'espansione delle popolazioni di Lepre italiana.

Nel 2001 un gruppo di esperti coordinato dall'INFS, al fine di individuare soluzioni condivisibili ed applicabili a tutto il territorio nazionale, ha redatto un Piano di Azione Nazionale per la salvaguardia della fauna selvatica. Un tale strumento analizza gli elementi disponibili sulla biologia, lo status, la distribuzione e i rischi di sopravvivenza relativi alle varie specie della fauna vertebrata italiana tracciando le linee-guida da seguire. Fra le proposte in esso riportate deve essere segnalata quella di una Rete Ecologica specifica per la Lepre italiana (RELit) come obiettivo fondamentale per la conservazione delle sue residue popolazioni peninsulari. La sua attuazione dovrebbe basarsi sui seguenti punti essenziali:

1. localizzazione di Aree centrali (*core areas*), zone cuscinetto (*buffer zones*) e corridoi di collegamento, attraverso indagini di campo e modelli di idoneità ambientale;

2. verifica del livello di tutela esistente;
3. pianificazione di un adeguato livello di tutela, anche per ridurre l'isolamento delle popolazioni;
4. pianificazione degli interventi di conservazione e ripristino dell'*habitat*;
5. pianificazione degli eventuali interventi di reintroduzione;
6. integrazione delle reti ecologiche locali con quelle provinciali, regionali e nazionale.

Sotto il profilo faunistico-venatorio, il piano prevede l'istituzione di distretti per la gestione sostenibile della Lepre comune. In pratica si propone: di organizzare il territorio in aree funzionali alla fruizione venatoria e alla conservazione della specie autoctona mediante una "zonizzazione" in base alla distribuzione delle due specie e alle indicazioni della RELit; un'adeguata presenza di aree protette per la Lepre italiana, almeno in coincidenza con le "aree centrali" della RELit; una buona presenza di ZRC e ZR (almeno il 10-15% del territorio, distribuite a macchia di leopardo) per favorire la conservazione e la naturale dispersione delle lepri; un'estensione dei distretti tra 2.000 e 5.000 ha in base alle caratteristiche ambientali; la gestione coordinata con i diversi istituti e le aree contigue.

Come in ogni corretta azione di gestione faunistica, a queste azioni dovrebbe accompagnarsi un monitoraggio delle popolazioni a livello nazionale, con censimenti di fine inverno, valutazione del successo riproduttivo della popolazione, controllo dei carnieri annuali e conduzione di indagini sanitarie. Al fine di limitare al massimo l'influenza negativa del prelievo di Lepre comune sulle popolazioni di Lepre italiana, il Piano suggerisce una regolamentazione basata altresì sulla formazione dei cacciatori aderenti, sull'apertura della stagione venatoria a metà ottobre e sulla pianificazione del prelievo di Lepre comune.

Affinché non vengano recepite dalle opportune sedi per una loro "ufficializzazione" in termini di programmi attuativi, le suddette proposte devono essere considerate come puri e semplici suggerimenti di ordine tecnico.

Uno scritto di Aldo Cairola: le Crete Senesi *sub specie interioritatis*



Paesaggio a biancane dell'area di Leonina nel Comune di Asciano. Foto di Giovanni Bencini.

Dal libro di Aldo Cairola ¹ *I segreti della provincia di Siena* (Casa Editrice Licinio Cappelli, Rocca S. Casciano, 1971, pp. 18-20) si riporta il brano dedicato all'impatto emozionale prodotto dal paesaggio delle Crete Senesi nel mondo interiore dell'autore. Con ogni probabilità, un tale impatto deve ritenersi non troppo dissimile da quello ricevuto nel lontano 1313 dal nobile senese Giovanni Tolomei allorché, assunto il nome

di Bernardo, insieme ad Ambrogio Piccolomini e a Patrizio Patrizi decise di ritirarsi a vita eremitica nel "deserto di Accona": un territorio arido a biancane in mezzo al quale sarebbe poi sorta la verde oasi del complesso abbaziale denominato Monte Oliveto Maggiore.

Lasciatoci Buonconvento dietro le spalle, "... la strada, il buon fondo d'asfalto tra campi coltivati, sale; s'avverte un'altra aria, altri colori. Le cre-

¹ Aldo Cairola (1928 – 1984) è stato per molti anni insegnante di Storia dell'Arte e direttore del Museo Civico, nonché presidente della Biblioteca Comunale degli Intronati e consulente del Comune per le attività espositive. Sempre vicino al mondo del Palio, è stato Deputato della Festa in varie occasioni negli anni '60 e si è occupato più volte della realizzazione del Drappellone, soprattutto negli anni '70 quando ne furono incaricati artisti internazionali di chiara fama. Ma il suo principale merito risiedeva principalmente in un'ostinata determinazione a sensibilizzare i cittadini sulle grandi potenzialità dei patrimoni, allora per molti versi misconosciuti, conservati nelle sedi di Contrada. I suoi scritti, riguardanti prevalentemente l'arte del passato e quella contemporanea con i loro protagonisti, la numismatica italiana e la storia di Siena e delle sue Contrade, rimangono fonti ancora valide di riflessione e di arricchimento. Cairola è stato per un'intera generazione di giovani allievi, colleghi e studiosi, artisti ed amici, un esempio da seguire, una guida coinvolgente e, a dire il vero, sempre poco o punto pacata, ma mai perentoria o autoritaria. Nel 2014, ricorrendo il trentesimo anniversario della sua prematura scomparsa, con il patrocinio del Comune di Siena è stata tenuta in suo onore nella Sala del Concistoro del Palazzo Pubblico una giornata di studi aperta al pubblico.

te, che prima si erano intraviste, ora sono vicine.

D'un tratto ci si trova dentro un altro mondo: i colori di sempre si sono dissolti; e la natura sembra capovolgere la prospettiva: non siamo più noi a guardare, ma piuttosto ad essere guardati. Sono le cose a filtrare sino i moti più impercettibili: un albero riseduto che muove i suoi rami, un filo d'erba a spicco nel grigiore, gli uccelli che non hanno più paura dell'uomo. Un'altra dimensione; la trasformazione e la riflessione del paesaggio in stato d'animo. Specchio lucido fatto di crepe e forre, articolato in calanchi e piccole dune gibbose, che venano la terra, arterie di secco.

Nel silenzio intorno è la bellezza dello squalore, riflesso dei sentimenti inariditi. Castità senza fine monotona, forse, ma certo non stucchevole delle crete. Anche i cerchi concentrici di un sasso lanciato a forza in un fontone fangoso sono echi visivi riproposti dalle curve segnate e nette dei piccoli fossi che l'acqua del cielo ha versato da sempre. Tutto sembra (o è) senza fine.

L'orizzonte stagna nuvole basse e un po' di sole per casolari distanti e solitari dove i cipressi paiono segnare tombe inesplorate.

Alla presenza imprevista del sole tutto pare rianimarsi, come se la natura avesse respirato di sollievo.

Il silenzio isola nel profondo di uno spazio sempre più improbabile.

S'avverte una tensione lucida; i sentimenti, il tempo.

I fili si spezzano; questi calanchi profondi e sottili vibrano come cose vive al solo contatto degli occhi; tutto incombe.

Eppure siamo sulla terra e non su un altro pianeta; quando abbiamo girato l'ultima curva della strada c'era, tanto viva da sentirne il respiro, una natura fresca, viva, giovane: campi e case apparsi e scomparsi d'un tratto, e macchine a rivoltare la



Un'affettuosa caricatura di Aldo Cairola tratta da *Gatta ci cova*, numero unico 1960 degli studenti del liceo classico "Enea Silvio Piccolomini" di Siena.

terra grigiastra.

Poi improvvisamente tutto è tornato estatico, silenzioso, grigio.

Bisogna calpestarla, batterla, questa terra come rabdomante che cerchi acqua per fosso.

Attraversare le crete, arido seccume, terra che appena toccata si scrosta e si spezza; fermarsi su questi campi sterili di messi dove l'albero alligna per caso, anche trascorrere solo con l'occhio questo paesaggio senza case e senza fine, anche porre il piede su questa terra, non terra, è proiettare fin nel calanco più fondo qualcosa di noi.

Le crete come specchio troppo vero, lucido, esatto.

Poi, improvvisa, dietro una curva, calcata tra il verde cupo dei cipressi, alti, o il grigio fitto delle crete lunari, è l'Abbazia.

Tanto più imprevista ci appare, dopo le siepi di olivi che bordeggiano la strada e le case arrampicate sui colli, questa vecchia costruzione di cui già s'intravede l'ampiezza, rossa di vecchi mattoni, col campanile aguzzo come a ripetere la forma del cipresso."

Caratteristiche della Rivista

Etrurianatura offre la possibilità di sviluppare la conoscenza del mondo naturale e di presentarla in forma divulgativa attraverso varie rubriche:

- *La pagina dell'Accademia.* Aspetti, attività e ricerche della stessa Accademia
- *Contributi.* Articoli scientifici su ogni aspetto rilevabile nel patrimonio naturale di un qualunque territorio, anche se sono preferiti quelli che fanno riferimento al territorio toscano
- *Il punto della situazione.* Articoli che mettono a confronto differenti interpretazioni di problematiche relative al patrimonio naturale
- *Orizzonti.* Progetti, idee e proposte di interventi finalizzati a risolvere problematiche inerenti il patrimonio naturale
- *La parola all'immagine.* Spazio riservato a foto relative ad uno specifico tema di carattere naturalistico di volta in volta indicato dal Comitato Editoriale
- *Io, il lettore.* Spazio aperto riservato ai lettori per far conoscere, in forma breve, un'opinione, una proposta o quant'altro possa essere collegato al patrimonio naturale
- *Schede naturalistiche.* Articoli a carattere sintetico relativi ad elementi del patrimonio naturale di un territorio

Il Comitato Editoriale si riserva di inserire altre rubriche a seconda delle esigenze che possono crearsi relativamente alla valorizzazione della rivista.

Norme per gli Autori

Gli articoli, completi di figure, foto e relative didascalie, devono essere redatti secondo le seguenti modalità:

- il titolo generale in font Gill Sans grassetto corpo 22
- il nome e il cognome (per esteso) dell'autore o degli autori in font Times New Roman corsivo corpo 10, corredati di recapito ed eventuale e-mail di riferimento nello stesso font ma tondo e corpo 10
- il testo, distribuito in due colonne, va caratterizzato in font Times New Roman corpo 11 interlinea 1 e capoversi con rientro; titoli dei capitoli in Gill Sans grassetto e staccati dal testo precedente (2 spazi) e da quello successivo (1 spazio); titoli dei sottocapitoli in Times New Roman maiuscolo staccati dai testi precedente e successivo (1 spazio)
- il testo può essere fatto precedere da un flash introduttivo (non un riassunto) che ne faccia emergere il contesto di origine. Il flash deve essere in font Times New Roman corsivo corpo 11 interlinea 1
- eventuali note, poste a piè di pagina in colonna unica, vanno

scritte in font Times New Roman corpo 9 interlinea 1

- le illustrazioni citate nel testo, siano foto o disegni, vanno indicate indistintamente come "Fig." seguite dal numero di successione; lo stesso vale, seguite da una lineetta, per le loro didascalie; queste devono essere in font Times New Roman corpo 9 interlinea 1
- i riferimenti bibliografici sono espressi nel testo dal cognome dell'autore seguito da una virgola e dall'anno di pubblicazione, il tutto tra parentesi tonda (Rossi, 1982); nel caso di due o più autori, rispettivamente (Rossi & Bianchi, 1982) e (Rossi *et al.*, 1982)
- i dati bibliografici, a seconda dei casi presentati come "Testi citati" o "Testi consultati", sono da porre a fine articolo e scritti con rientro in corpo 9 interlinea 1 nella seguente successione: autore/i (cognome e prima lettera del nome puntata), lineetta, titolo (per esteso in corsivo), rivista (abbreviata o per esteso), volume (numero arabo; se accompagnato da fascicolo questo deve essere messo tra parentesi tonda), due punti, pagine (la prima e l'ultima). Esempi: Blechschmidt G., Cita M.B., Mazzei R. & Salvatorini G. (1981) - *Stratigraphy of the western Mediterranean and southern Calabrian Ridges, eastern Mediterranean*. *Marine Micropaleontology*, 7 (3): 101-134 / Scoppola A. & Angiolini C. (1997) - *Vegetation of stream-bed garrigues in the Apennine range of Tuscany and Latium (central Italy), especially the new association Santolina etrusca-Saturejetum montanae*. *Phytocoenologia*, 27: 77-102.
- per le illustrazioni (figure e foto), che hanno lo scopo di rappresentare il testo in modo esaustivo e chiaro, è richiesta di norma una buona risoluzione (le foto, ad esempio, dovranno averla non inferiore a 300 dpi).

I testi, le illustrazioni e le relative didascalie dovranno essere inviate, in file separati, al Sovrintendente all'Editoria (etrurianatura@fisiocritici.it) ed al Direttore Responsabile della rivista (rbmazzei@gmail.com). Dopo la revisione da parte del Comitato Scientifico e di quello Editoriale gli autori saranno informati dal Direttore Responsabile dell'accettazione o meno dei vari contributi.

Inserzioni pubblicitarie

A farne richiesta possono essere tutti coloro che abbiano in qualche modo relazione con la conoscenza, la gestione, la tutela e la valorizzazione del patrimonio naturale (università, scuole, musei, associazioni, istituzioni professionali o aziendali, studiosi, semplici cittadini). Per il costo dell'operazione, che verrà indicato dal Consiglio, è possibile consultare la Segreteria dell'Accademia.

Etruria*natura*

