



Etruria *natura*

una finestra sul territorio

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena
Anno XI - 2015/2016





Etruria*natura*

una finestra sul territorio

Periodico dell'Accademia dei Fisiocritici, Siena

Anno XI - 2015/2016

*Coltivare conoscenza
per creare coscienza*





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

Registrazione

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

Direttore responsabile

Gianmichele Galassi

Responsabili scientifici

Roberto Fondi
Roberto Mazzei

Comitato editoriale

Roberto Fondi
Università di Siena,
Dipartimento di Scienze Fisiche,
della Terra e dell'Ambiente,
via Laterina 8, 53100 Siena

Folco Giusti
Università di Siena,
Dipartimento di Scienze Fisiche,
della Terra e dell'Ambiente,
via Mattioli 4, 53100 Siena

Roberto Mazzei

Università degli Studi di Siena, Dipartimento
di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente,
via Laterina 8, 53100 Siena

Luana Paulesu

Università di Siena, Dipartimento
di Fisiologia, via A. Moro 2, 53100 Siena

Claudia Perini

Università di Siena, Dipartimento
di Scienze della Vita, via Mattioli 4,
53100 Siena

Sommario

5	Presentazione
7	La pagina dell'Accademia
8	Museo ed emozioni: l'Accademia dei Fisiocritici nei racconti dei visitatori <i>Andrea Benocci, Chiara Bratto</i>
13	Contributi
14	L'impatto delle plastiche invisibili sul plancton marino <i>Elisa Bergami, Serena Pugnali, Claudia Faleri, Ilaria Corsi</i>
21	Qualità dell'aria in Toscana: variazioni stagionali della concentrazione di pesticidi di uso corrente <i>Victor H. Estellano, Karla Pozo, Christos Efstathiou, Katerine Pozo, Silvano Focardi, Simonetta Corsolini</i>
33	La valle dei mulini scomparsi: una ricerca sulla civiltà contadina nella valle della Tressa, a poca distanza dalle mura di Siena <i>Laura Perrini, Attilio Galiberti</i>
37	I fossi della Val di Merse: un <i>hot spot</i> per le felci nella Toscana meridionale <i>Marco Landi, Luca Paoli, Elisa Baragatti, Carlo Saveri, Claudia Angiolini</i>
44	Gli acquiferi costieri grossetani: stato delle conoscenze, evoluzione dei sistemi, ipotesi di gestione <i>Massimo Salleolini</i>
63	Orizzonti
64	Sul Diluvio Universale <i>Roberto Mazzei</i>
77	Il punto della situazione
78	Il paradigma scientifico ufficiale è impotente a far luce sulle origini del genere umano <i>Roberto Fondi</i>
96	Terremoti avvenuti in Appennino centrale nel periodo Agosto-Ottobre 2016: un chiaro esempio di come le attuali carte di pericolosità sismica sottovalutano il problema <i>Enzo Mantovani, Marcello Viti, Daniele Babbucci, Caterina Tamburelli, Nicola Cenni</i>
101	La parola all'immagine
102	Natura e arte, un binomio insospettato ricco di fascino <i>Giovanni Bencini</i>
107	Schede naturalistiche
108	Il Padule di Rosia: un ambiente da ripristinare <i>Leonardo Favilli, Andrea Benocci, Sandro Piazzini, Giuseppe Manganeli</i>
117	Io, il lettore
118	Ad Ovest di San Gimignano: paesaggi inconsueti e memorie dimenticate <i>Raffaello Razzi</i>
127	Viaggiando per musei
128	Una nuova 'missione' per il Sistema Museale Universitario Senese <i>Davide Orsini, Francesca Vannozzi</i>



Realizzazione editoriale
Betti s.r.l.
Siena (Italia)
www.betti.it
redazione@betti.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'editore. L'editore è a disposizione
degli eventuali detentori di diritti che non sia stato
possibile rintracciare

© 2017 Accademia dei Fisiocritici Onlus, Siena
© 2017 Betti s.r.l., Siena

ISSN 2282-2607

In copertina

Cincia bigia: *Poecile palustris* (Linnaeus, 1758)
Foto di Giovanni Bencini – viale Europa,
comparto "I Pini", 42 - 58022 Follonica (GR)

Retro copertina

Scricciolo: *Trogodytes troglodytes* (Linnaeus, 1758)
Foto di Giovanni Bencini

Presentazione

Cari lettori,

anche questo undicesimo numero di **Etrurianatura** esce con grande ritardo ed abbraccia due intere annate, il 2015 e il 2016. Ne siamo dispiaciuti e ce ne scusiamo, ma crediamo che anche voi abbiate ormai acquisito piena coscienza della gravità della crisi economica che attanaglia l'Italia e che nulla ancora induce a ritenere possa essere facilmente superata. Rivolgiamo in ogni caso i nostri più cordiali e profondi ringraziamenti al nuovo Presidente dell'Accademia, Mauro Cresti, sia per gli sforzi indirizzati ad assicurare la sopravvivenza della rivista sia per la fiducia rinnovataci. E torniamo ad impugnare la barra del timone pur con la consapevolezza di dover navigare in acque difficili.

Tra i *Contributi* presenti, quello di Elisa Bergami, Serena Pugnolini, Claudia Faleri e Ilaria Corsi parte da un dato sicuramente ignoto al vasto pubblico, e cioè che la principale componente dei rifiuti trovati in mare è rappresentata da materia plastica. Uno dei beni di più ampio consumo della società industriale, insomma, rivela al medesimo tempo di essere responsabile di uno dei più gravi problemi ambientali del nostro tempo; ciò non tanto in quanto visibile “sporcizia” disseminata dalle onde lungo le coste, ma in quanto sminuzzata in invisibili frammenti e nanoparticelle suscettibili di penetrare ed accumularsi negli organi, nei tessuti e nelle cellule di tutti gli organismi della rete trofica marina compromettendone le funzioni vitali.

L'articolo di Victor H. Estellano, Karla Pozo, Christos Efstathiou, Katerine Pozo, Silvano Focardi e Simo-netta Corsolini sulla qualità dell'aria in Toscana e sul suo contenuto in pesticidi non rispetta completamente le finalità divulgative di **Etrurianatura**; data comunque la sua importanza, ci è sembrato giusto pubblicarlo ugualmente. Vi si dimostra che nell'aria di alcuni siti urbani e rurali della Toscana sono presenti concentrazioni simili dei pesticidi comunemente usati, che si accentuano nel periodo primaverile-estivo di maggiore attività agricola. Gli autori rimarcano che sui pesticidi clorpirifos e clorpirifos-metile, ampiamente utilizzati soprattutto negli agrumeti del nostro Paese, occorra un costante e rigoroso controllo nonostante che per alcuni specialisti siano prodotti non pericolosi per la salute dell'uomo e dell'ambiente. Inoltre la loro presenza nell'atmosfera italiana è poco conosciuta, tanto che l'articolo sembra essere il primo a monitorare rigorosamente questo aspetto.

Gli appassionati di Botanica apprezzeranno particolarmente il contributo di Marco Landi, Luca Paoli, Elisa Baragatti, Carlo Saveri e Claudia Angiolini, che li condurrà in due aree protette della Val di Merse per conoscervi la locale comunità di felci: una decina circa di specie entro un'ampia foresta riparia insediata su un omogeneo substrato triassico di “Verrucano”.

Dell'articolo di Massimo Salleolini potrà sicuramente usufruire la Pubblica Amministrazione dell'area di Grosseto. Infatti la progressiva intrusione marina nell'acquifero costiero di tale area, dovuta all'eccessivo emungimento dell'acqua di falda per la crescente attività antropica, rappresenta un fattore limitante lo sviluppo economico. Ciò vale soprattutto per l'agricoltura, sempre più spinta ad orientarsi verso colture di minor pregio e più resistenti alla salinità, quando non addirittura verso l'abbandono di qualsiasi coltura. Da parte amministrativa, la consapevolezza della necessità di tenere sotto controllo il fenomeno ha portato ad imporre limitazioni all'uso della risorsa; risulta però evidente una generale carenza di conoscenza idrogeologica e idrogeochimica relativa agli acquiferi coinvolti, per cui vi è il rischio di attuare misure scarsamente efficaci. Da

tempo il Gruppo di Idrogeologia dell'Università di Siena porta avanti un programma pluriennale di ricerca con l'obiettivo di realizzare modelli numerici idonei al monitoraggio ed alla gestione ottimale delle risorse idriche, e l'articolo di Salleolini si inserisce appunto in tale contesto.

Con sotto mano i disegni e le mappe del Catasto Leopoldino redatto all'inizio dell'Ottocento e senza dimenticare le narrazioni di Federigo Tozzi ne *Il podere* e in *Adele*, Laura Perrini e Attilio Galiberti ci offrono una breve ma accurata *Recherche du temps perdu* non priva di nostalgica partecipazione. Essa inizia con la leggenda medioevale di Senio e Aschio, mitici gemelli legati alla fondazione di Siena sulla collina sovrastante il Torrente Tressa, per ricostruire la storia di quest'ultimo e della civiltà contadina della sua valle a partire dai paesaggi incontaminati del lontano passato fino al cemento dei nostri giorni.

In *Orizzonti*, Roberto Mazzei ci invita a ripensare al racconto del diluvio tramandatoci dalle antiche tradizioni medio-orientali. Tenendo conto delle più recenti acquisizioni scientifiche sull'argomento l'autore sostiene che la forte risalita delle acque del Mediterraneo, dovuta all'interglaciale olocenico, sarebbe da considerarsi responsabile del superamento del Bosforo e del riempimento veloce del "Lago" Nero; tale evento, fatto risalire a 7.540 anni fa, da un lato avrebbe aumentato sensibilmente le dimensioni del "lago" collegandolo all'Egeo e dall'altro avrebbe sottoposto a "diluvio" le diverse comunità protostoriche che abitavano le sue fertili sponde. I superstiti di tali comunità sumere si sarebbero poi dispersi, sia nella valle del Danubio che sull'altopiano iranico, portando con sé il ricordo delle acque distruttrici. L'affermazione territoriale e culturale dei Sumeri nella Bassa Mesopotamia, il Poema di Gilgamesh e la sua conoscenza da parte della comunità di Abramo nel periodo di permanenza in questa regione, fornirebbero consistenti elementi a favore del collegamento tra i due eventi.

Il Punto della Situazione ospita due interventi. Nel primo di essi, Roberto Fondi procede ad una rilettura critica del materiale paleontologico generalmente ritenuto e presentato come relativo a forme viventi coinvolte nel processo di trasformazione che conduce al genere umano. Sicuramente la sua conclusione, secondo cui l'immagine canonica del paradigma evolucionistico (cioè quella dell'albero genealogico) travisa la realtà senza gettare alcuna luce significativa sulle nostre origini, non mancherà di suscitare reazioni ed utili discussioni.

Segue l'importante intervento di Enzo Mantovani, Marcello Viti, Daniele Babbucci, Caterina Tamburelli e Nicola Cenni, che, allo stesso modo di quello di Salleolini, ci auguriamo non passi inosservato ai Pubblici Amministratori. Il Gruppo di Ricerca Geofisica, che fa capo al Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Siena, rimarca nuovamente il fatto che le carte di pericolosità di cui dispongono gli enti regionali italiani, possono portare a significative sottovalutazioni della pericolosità medesima in quanto basate sullo studio della sismicità passata condotto con metodologie statistiche. Il caso più clamoroso è fornito dalle mappe delle regioni Umbria e Marche, le quali prevedono per una larga parte del territorio una probabilità molto bassa (minore del 10%) che nei prossimi 50 anni si verifichino scosse con un'intensità superiore al valore VIII della scala Mercalli-Cancani-Sieberg; previsione del tutto inattendibile, com'è stato purtroppo dimostrato dal terremoto che nell'estate dello scorso anno ha devastato l'Appennino Centrale.

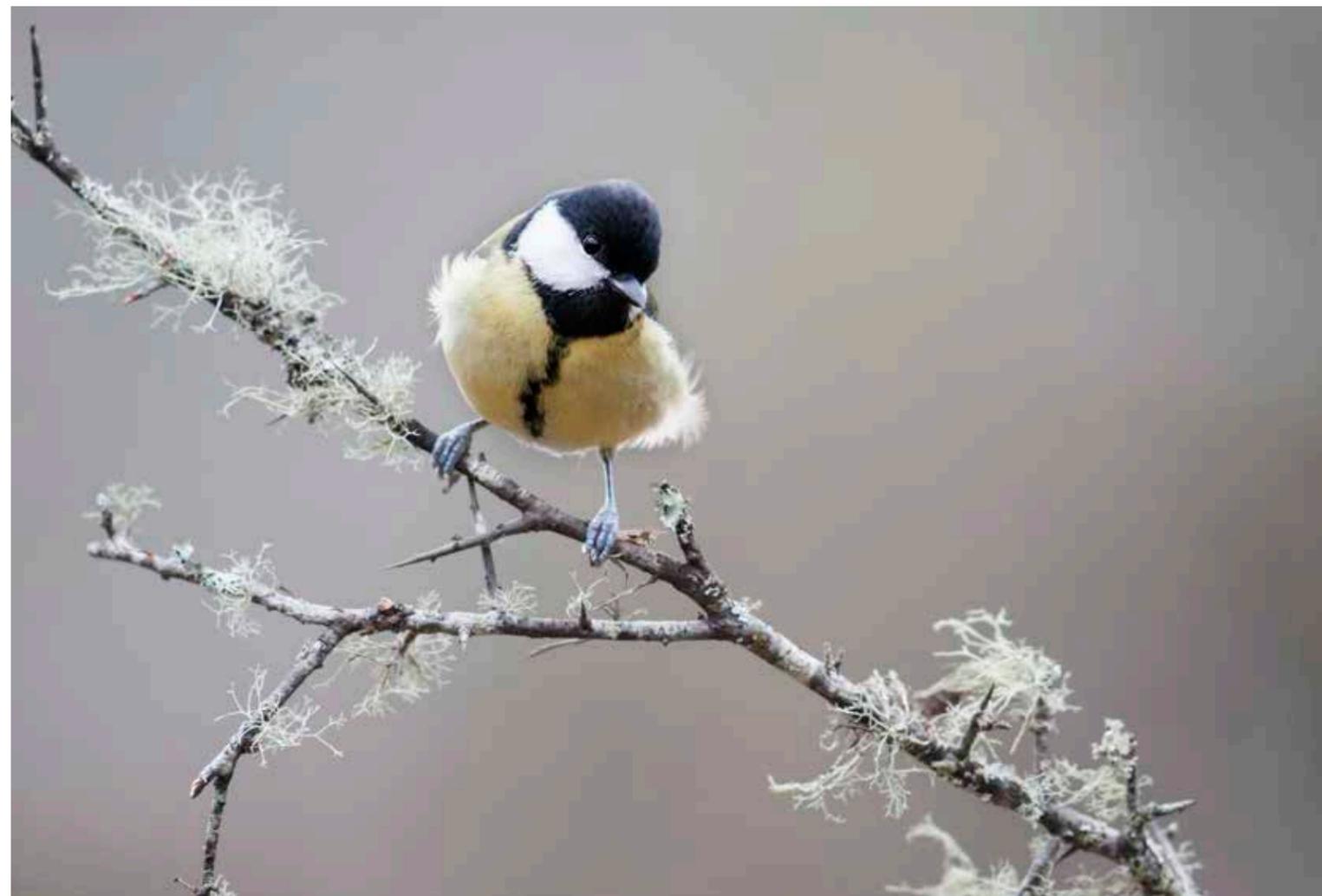
Gli appassionati di Zoologia accoglieranno con grande piacere la *Scheda naturalistica* di Leonardo Favilli, Andrea Benocci, Sandro Piazzini e Giuseppe Manganelli dedicata alla fauna della Piana di Rosia, dove potranno trovare non soltanto una vera miniera di informazioni concernenti le specie più significative, ma anche preziosi suggerimenti su come intervenire per conservarne e tutelarne la ricca biodiversità.

Io il lettore, infine, offre un'escursione nel territorio ad ovest di San Gimignano sotto la guida esperta di Raffaello Razzi.

A coronamento del tutto, le foto ogni volta sempre più sorprendenti di Giovanni Bencini. Esse parlano da sole. O meglio: fanno sì che anche i più insospettati ritagli della natura siano suscettibili di comunicarci messaggi archetipici profondi e come sospesi in una dimensione esoterica. È l'ennesima riprova, secondo noi, della stretta complementarità e inscindibilità tra *anima mundi* e *anima hominis*.

Il Comitato editoriale

La pagina dell'Accademia



Cinciallegra: *Parus major* Linnaeus, 1758
Foto di Giovanni Bencini

Museo ed emozioni: l'Accademia dei Fisiocritici nei racconti dei visitatori

Andrea Benocci, Chiara Bratto

Indagare sul ruolo delle emozioni nella progettazione dei musei del terzo millennio e mettere a punto “buone pratiche” disciplinari è lo scopo dichiarato di “Musei Emotivi”, training formativo per operatori museali ideato nel 2016 da NEMECH (New Media for Cultural Heritage). Sede e oggetto di studio della terza edizione, organizzata in collaborazione con Fondazione Musei Senesi e Vernice Progetti Culturali, è stato dal 30 marzo al 1 aprile 2017 il Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici. Un'occasione propizia per l'istituzione scientifica senese per cominciare a riflettere su un argomento estremamente importante ma talvolta sottovalutato: com'è percepito il museo dai visitatori? Quali emozioni suscita in loro? Quali gli strumenti per poterlo valutare?

In attesa di poter intraprendere un'analisi più approfondita, sono state esaminate in maniera preliminare sei diverse fonti: i commenti lasciati sul registro delle firme, le schede di valutazione dei visitatori, le schede di valutazione dei gruppi scolastici e le schede di valutazione dei campus (relativamente agli anni 2015-2016), i commenti su Facebook e le recensioni su TripAdvisor.

Il primo dato che emerge è il livello generale di soddisfazione che segue alla visita: gli alti punteggi su TripAdvisor (> 4.6 su 5) e su Facebook (media di 4.4 su 5) ne sono una testimonianza tangibile, così come la quasi totalità dei commenti sul registro delle firme e sulle schede di valutazione. Le recensioni troppo lusinghiere rischiano tuttavia di essere parziali perché evidenziano i punti di forza ma non necessariamente i punti debo-

li, ovvero ciò su cui intervenire per cambiare in meglio. Su questo possono fornire informazioni le schede di valutazione che includono voci come “aspetti negativi” o “aspetti che potrebbero essere migliorati” e “suggerimenti”: invogliano infatti i visitatori, compresi quelli nel complesso soddisfatti, a riflettere su ciò che potrebbe essere reso ancora più vicino alle proprie esigenze. Purtroppo la maggior parte delle richieste non è realizzabile in tempi brevi dato che per soddisfarle sarebbe necessario un profondo ripensamento dell'assetto o della gestione del Museo. Al momento alcuni suggerimenti - quali ad esempio l'aumento dei pannelli esplicativi, la traduzione in inglese di tutti i contenuti, l'ampliamento dell'orario di apertura - sono presi in considerazione nell'ottica di cambiamenti a lungo termine.

Ciò che in questa sede ci preme sottolineare sono le emozioni che il museo suscita in chi lo visita. I commenti esaminati sono centinaia e ciò che salta all'occhio è la ricorrenza di alcune parole, tanto nelle schede di valutazione che nel registro delle firme e sulla pagina social del Museo. Espressioni di incoraggiamento e gratitudine, prima di tutto: in testa troviamo infatti “complimenti”, “grazie”, “bellissimo”, termini che ci trasmettono sicuramente l'entusiasmo di chi ha gradito la visita ma contribuiscono poco a inquadrare il tipo di emozione. Ci aiutano maggiormente altre parole anch'esse ricorrenti come “stupendo”, “straordinario”, “meraviglia”, “sorpresa”, “scoperta inaspettata” e simili. Tutte formule che richiamano forti sensazioni di stupore, evocate spesso,



Fig. 1. La facciata esterna del Museo di Storia Naturale come appariva fino a gennaio 2017.



Fig. 3. L'allestimento ottocentesco delle collezioni naturalistiche perfettamente integrato all'interno del monastero camaldolese della Rosa.

sempre secondo le testimonianze dei visitatori, siano essi turisti o gruppi scolastici, dalla grande “ricchezza” e dalla “diversità” dei reperti e delle collezioni.

In parte questa sorpresa è dovuta al fatto che l'essenzialità un po' anonima della facciata dell'edificio (fino a gennaio 2017 priva di una insegna che segnalasse la presenza di un museo) (Fig. 1), non lascia trapelare nulla dei tesori in esso racchiusi (Fig. 2). Non a caso più di una persona definisce l'Accademia uno “scigno nascosto” e qualcuno candidamente ammette “ci aspettavamo molto meno”. Il contrasto fra ciò che si percepisce da fuori e ciò che si vede all'interno accresce in chi varca il portone per la prima volta la sensazione di “entrare in un'altra dimensione”, compiere un “viaggio nella storia”, andare “a ritroso nel



Fig. 2. L'inattesa scenografia della corte con lo scheletro di balenottera e il pozzo cinquecentesco, intorno a cui si articola il chiostro con ricche collezioni di reperti naturali.

tempo”, per dirla con parole loro. L'elemento che, rispetto a simili raccolte naturalistiche e scientifiche, più distingue il museo fisiocritico e colpisce la fantasia di chi lo esplora è proprio questo: l'assetto espositivo di ottocentesca concezione perfettamente integrato all'interno di un antico monastero camaldolese (fig. 3), al punto che qualcuno, alla richiesta di precisare l'aspetto che ha più gradito, indica: “l'atmosfera generale”, mentre molti altri rimarcano la presenza di reperti, vetrine e mobili originali oppure sottolineano il fascino dell'allestimento e della “splendida sede”, fino a definire l'insieme “unico nel suo genere” o “meta imperdibile”. Benché molte persone, in particolare tra insegnanti e genitori con figli piccoli, rilevino il valore istruttivo delle raccolte e delle attività didattiche e divulgative, l'aspetto che sembrano ricercare maggiormente i molti visitatori occasionali, specialmente tra i turisti, è proprio quello dell'esperienza emozionale. Espressioni come “salto nel passato”, “viaggio nella memoria”, “luogo di altri tempi”, “posto magico” e simili ricorrono nel registro delle firme e nelle recensioni online, accanto a termini come “avventura”, “suggestivo”, “impressionante”, “inquietante”, “spettacolare”, “atmosfera da romanzo”, “impensabile”.

Del resto la sensazione di stupore non è dovuta soltanto alla ricchezza dei reperti e al contesto ambientale in cui sono collocati, ma anche all'impatto generale dell'allestimento che in parte ricorda proprio le *Wunderkammern* (camere delle me-



Fig. 4. La Sala Gabbrielli, dedicata al fondatore dell'Accademia, riproduce nel suo stile le antiche "stanze delle meraviglie": al suo interno si trovano arredi d'epoca, busti e ritratti di presidenti e soci illustri, reperti storici, manufatti, preparati di anatomia comparata, mirabilia e curiosità naturali di vario tipo, in un "miscuglio ordinato" che genera stupore e al contempo stimola la sete di conoscenza.

raviglie) da cui probabilmente traggono origine gli attuali musei naturalistici. Dal XVI al XVIII secolo le collezioni di reperti naturali non erano concepite tanto per istruire, quanto per sbalordire, rimarcando al tempo stesso il prestigio sociale ed economico dei privati che le allestivano. I reperti non erano quindi divisi per tipologia e non vi era separazione tra *naturalia* (campioni animali, vegetali, minerali) e *artificialia* (resti archeologici e opere d'arte o di artigianato): il tutto era generalmente disposto a caso, in un complesso caotico in cui il posto d'onore era riservato alle rarità e ai pezzi più anomali e straordinari. Con l'Illuminismo si accrebbe l'interesse scientifico per queste camere delle meraviglie che cominciarono ad evolversi in strutture più ordinate per arrivare nel corso del XIX secolo a trasformarsi in molti casi in veri e propri musei, prevalentemente vocati a funzioni informative ed educative. Con il passare del tempo i musei naturalistici hanno continuato il proprio processo di trasformazione differenziandosi spesso per aree disciplinari (zoologia, anatomia, paleontologia, botanica e così via) fino a trasformarsi in moderne istituzioni in cui supporti multimediali ed efficaci pannelli descrittivi occupano più spazio della selezione di reperti esposti.

Il Museo di Storia Naturale dell'Accademia dei Fisiocritici (MUSNAF), da questo punto di vista,

può essere considerato come una fase di transizione tra un'antica *Wunderkammer* e un museo di odierna concezione: non a caso tra i molti commenti entusiasti figura quello di un turista francese che ha particolarmente apprezzato "les collections conservées dans l'esprit des *cabinets de curiosité*" mentre qualcun altro così sintetizza efficacemente l'essenza di questa raccolta: "quattro piani di meraviglie in questo *museo nel museo*". La valorizzazione degli aspetti storici, caratteristica dell'Accademia, passa anche attraverso il mantenimento di un assetto espositivo il più possibile fedele a quello originale: i campioni che affollano i ripiani sono sì divisi per tipologia, secondo un ordine sistematico di affinità tipico dei musei veri e propri, ma allo stesso tempo nella loro visione d'insieme ci offrono una panoramica amplissima su tutto ciò che riguarda l'uomo e le scienze, ben lontana dall'impostazione settoriale che va per la maggiore oggi. Nelle vetrine del MUSNAF fanno bella mostra di sé reperti naturali (rocce, minerali, animali, fossili e campioni vegetali) accanto a manufatti come strumenti scientifici e di misura, reperti archeologici, tavole anatomiche, modelli, quadri e libri antichi, in una commistione tra diverse discipline che stupisce e quasi disorienta per la vastità dei temi trattati (Fig. 4).

È proprio tale peculiarità, insieme al sapore di tempi passati che si respira nelle sale di questa

particolarissima sede, a conquistare la maggior parte dei visitatori, molti dei quali sottolineano il fascino dell'antica ostensione rispetto ad esposizioni più moderne ("mi piacciono gli ambienti stipati di oggetti ordinati, li preferisco a quelli con esposizioni magari più scenografiche"). Se i commenti positivi sull'allestimento sono innumerevoli, quelli negativi sono veramente pochissimi, e quasi sempre molto blandi ("il museo ha un'impostazione ottocentesca un po' pedante ma tutto sommato interessante"). A sottolineare quanto l'esperienza emozionale conti nel gradimento del pubblico valgono vari commenti che definiscono la visita al museo adatta a tutti, "anche per chi non è amante del genere"; diversi visitatori hanno inoltre descritto la sensazione di pace e tranquillità, o di malinconica "nostalgia", che questa esperienza ha lasciato in loro. Molti sembrano avere la percezione che all'interno dell'Accademia il tempo rallenti, si dilati, ed elogiano questa atmosfera che induce alla meditazione e alla "lentezza" contrapposta alla frenesia della vita moderna (un luogo affascinante in cui perdersi per ore riflettendo sui segreti della natura", Fig. 5). Sulla stessa lunghezza d'onda, altri visitatori sottolineano come le emozioni che il Museo suscita siano destinate a durare nel tempo e in qualche modo



Fig. 5. Uno degli scatti partecipanti al concorso fotografico "L'occhio del visitatore" (Sonia Arfaioi, "RIFLESSI"). Questa immagine sembra condensare l'atmosfera di pace e tranquilla meditazione descritta in varie recensioni. La percezione che all'interno dell'Accademia il tempo si dilati e la vita sfugga alla frenesia del quotidiano è infatti un elemento ricorrente nei commenti del pubblico.

a "formare" le giovani menti che lo esplorano al punto da definire l'Accademia dei Fisiocritici "un passaggio importante per l'educazione dei piccoli, ma anche una fonte di curiosità senza limiti".

Questo fatto è del resto dimostrato dalle testimonianze verbali di persone che raccontano di essersi appassionati alle scienze in tenera età dopo aver visitato l'Accademia, luogo in cui tornano appena possono. Emblematico a questo proposito è l'esempio di una bambina di 10 anni che, avendo partecipato a un campus ludico-didattico organizzato nel Museo, ha iniziato a visitarlo regolarmente portando parenti e amici e alla fine ha pure raccolto una propria collezione di reperti naturali. Il video che ha realizzato e condiviso, in cui illustra con grande trasporto gli oggetti trovati, è una prova tangibile della passione in lei instillata. Non si tratta comunque di un caso isolato: nelle recensioni esaminate sono molte le persone che raccontano di tornare spesso ("uno di quei posti magici che diventano una meta fissa delle visite di una città"), magari invitando ogni volta familiari o conoscenti che non lo hanno ancora visitato. E ciò che accomuna le loro testimonianze è la sensazione di inesplorato, di rinnovato stupore: "si può tornare più volte, perché ad ogni età vi si trova di che appassionarsi", "ogni volta è una novità", "non è stato un rivedere ma una nuova scoperta".

Uno stupore della prima visita, dunque, trasversale alle età, pur se con gradi e modalità diverse anche a seconda della propria formazione culturale. Le emozioni in rapporto all'età e alla provenienza geografica meritano senz'altro di essere analizzate in un successivo studio che, anche solo sulla base delle testimonianze raccolte in diretta dagli operatori museali, può offrire al MUSNAF interessanti spunti per una maggiore comprensione di se stesso.

Dal punto di vista geografico le emozioni si differenziano invece notevolmente quando si passa dal continente europeo ad altri continenti, o dalle culture occidentali a quelle orientali. Ma anche all'interno dell'Occidente non si registra una

omogeneità di reazioni: un nordamericano o un australiano vivono un impatto col Museo diverso da quello di un francese o un greco. Ci sono statunitensi che sfiorano la sindrome di Stendhal, tanto sono sovrastati dalla bellezza di quello che si palesa ai loro occhi. Visitatori asiatici, in particolare cinesi, vivono invece sensazioni difficili da descrivere poiché si trovano davanti qualcosa di nuovo per le proprie categorie mentali e le proprie radici culturali.

C'è poi una categoria di persone che vive questo Museo in modo del tutto speciale: gli artisti. In loro, di qualunque espressione artistica si tratti, l'emozione diviene scoperta che apre nuovi orizzonti, stimolo per una nuova e specifica produzione che ben veicola e valorizza i contenuti scientifici, strumento per attualizzare l'operazione divulgativa.

Un altro aspetto che sembra particolarmente gradito è l'ospitalità. Molte schede di valutazione relative a visite autonome e guidate rimarcano la "disponibilità del personale" e la "accoglienza", mentre gli insegnanti che valutano le attività didattiche, oltre ad apprezzare i contenuti e la chiarezza espositiva, utilizzano spesso il termine "coinvolgimento". Accanto agli inevitabili (e quasi sempre preziosi!) consigli per migliorare l'offerta divulgativa del Museo che occasionalmente compaiono nelle schede di valutazione, emerge complessivamente un livello di soddisfazione molto alto, confermato anche dal grado di affezione di scuole e insegnanti che tornano ogni anno da lungo tempo, nonostante il continuo ampliamento delle proposte educative da parte di altri musei e di altri operatori del territorio. Anche in questo caso, oltre agli aspetti strettamente didattici ed istruttivi, gioca un ruolo fondamentale l'esperienza emozionale, spesso definita "accattivante" o "stimolante", al punto che i giovani visitatori, stando alle parole di alcuni insegnanti e genitori, restano "incantati", "estasiati" (Fig. 6).

In definitiva, senza perdere di vista gli obiettivi prioritari - ovvero cercare di mantenere il massimo rigore scientifico venendo contemporanea-



Fig. 6. Un'altra immagine del concorso fotografico (Nicola Pilli, "LA VITA E LA MORTE... SECCA"), emblema della curiosità che i reperti del museo suscitano nei più piccoli.

mente incontro alle esigenze del pubblico - non si può che gioire dei positivi commenti dei visitatori, finora mai analizzati in maniera così organica sul lungo periodo. L'impegno di tutte le persone che operano, spesso a titolo volontario, all'interno dell'Accademia è fortemente percepito dai visitatori che ne apprezzano la "devozione" e la "ammirevole cura" ed è sicuramente ripagato dalle testimonianze che lasciano sottoforma di recensioni.

Per concludere, eccone una selezione fra quelle che ci hanno particolarmente colpito: "Uno dei musei più interessanti e caratteristici di Siena!", "Una delle perle più brillanti di Siena", "Beh, semplicemente la cosa più bella dell'intera vacanza trascorsa a Siena!", "Il museo più bello mai visitato. Che sorpresa! Grazie dall'Olanda", "Un museo unico! da far invidia a qualsiasi museo del mondo ...".

Contributi



Picchio verde: *Picus viridis* Linnaeus, 1758
Foto di Giovanni Bencini

L'impatto delle plastiche invisibili sul plancton marino

Elisa Bergami*, Serena Pugnali*, Claudia Faleri**, Ilaria Corsi*

* Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, via Mattioli, 4 - 53100 Siena

**Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, via Mattioli, 4 - 53100 Siena

Introduzione

La plastica si può definire come una famiglia di polimeri organici sintetici derivanti dalla polimerizzazione di monomeri ottenuti dal petrolio o dal gas (Thompson *et al.*, 2009) (Fig. 1A). Dall'inizio del '900, con lo sviluppo del primo polimero sintetico denominato "bakelite", numerose tecniche di produzione di materiale plastico sono state messe a punto ed ottimizzate, portando ad una produzione su larga scala a basso costo di materiali leggeri, durevoli, inerti e resistenti alla corrosione (Plastics Europe, 2013).

Grazie a tali proprietà, con gli anni la plastica è divenuta un bene di largo consumo ma, allo stesso tempo, uno dei più gravi problemi ambientali dei secoli XX e XXI, tanto da costituire la principale componente (60% - 80%) dei rifiuti trovati in

mare. Questi sono per l'80% riconducibili a fonti terrestri (quali rifiuti non correttamente smaltiti) e per il rimanente 20% ad immissioni dirette attribuibili, per esempio, al settore della pesca (Andrady, 2011).

Tutto ciò ha portato alla diffusione delle plastiche negli ecosistemi marini su scala globale, con la creazione di vere e proprie "isole di plastica", ovvero vortici di accumulo (*gyres*) formati dalla convergenza di correnti oceaniche in specifiche regioni del nostro pianeta (Fig. 1B). Recenti studi sottolineano come l'88% di tutta la superficie oceanica contenga plastiche, corrispondenti ad oltre circa 250.000 tonnellate (Eriksen *et al.*, 2014). Un dato interessante è che la dimensione delle plastiche campionate è di media pari a 2 mm (Cózar *et al.*, 2014). Dimensioni così piccole potrebbero essere riconducibili al fenomeno di frammentazione

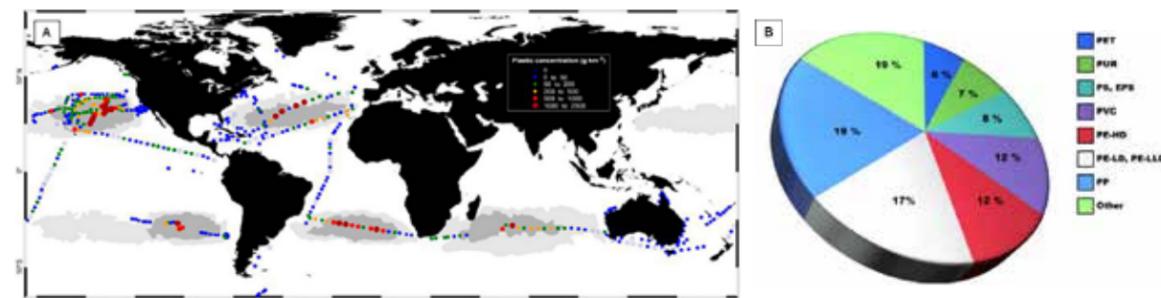


Figura 1. (A) Distribuzione globale di frammenti di plastica negli oceani (Cózar *et al.*, 2014). Le aree in grigio indicano zone di potenziale accumulo delle plastiche (contrapposte a regioni bianche di non accumulo), come indicato da modelli di circolazione superficiale globale. I cerchi colorati indicano le concentrazioni medie (g/Km²) dei frammenti di plastica trovati nello studio citato, corrispondenti a 1127 campionamenti effettuati a livello sub-superficiale tramite reti galleggianti "manta". **(B)** Percentuali dei tipi di plastica utilizzati nell'Unione Europea nel 2010 (Klar *et al.*, 2014): polietilene tereftalato (PET), poliuretano (PUR), polistirene e polistirene espanso (PS, EPS), polivinilcloruro (PVC), polietilene ad alta (PE-HD) e bassa densità (PE-LD, PE-LLD), polipropilene (PP), altri tipi (other).

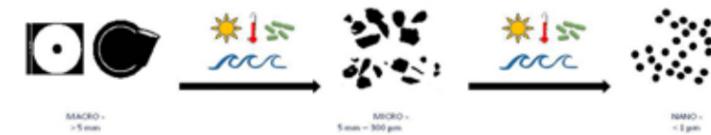


Figura 2. Rappresentazione schematica della frammentazione del polistirene in ambiente marino. Come altri tipi di plastiche, da questo polimero non smaltito correttamente e disperso in mare (macroplastica) si possono originare con il tempo frammenti di dimensioni sempre più piccole (micro- e nanoplastiche) a causa dell'azione degli agenti atmosferici e dei microorganismi. I principali processi coinvolti nella frammentazione delle plastiche dovuti a fattori abiotici e biotici, sono: fotodegradazione, termo-ossidazione, idrolisi e biodegradazione (Andrady, 2011).

a cui la plastica va incontro, una volta rilasciata nell'ambiente, in seguito a fattori come l'azione dei raggi UV (fotodegradazione), la temperatura (termo-ossidazione), l'abrasione meccanica (idrolisi) ed il ruolo delle comunità batteriche (biodegradazione) (Andrady, 2011); questi fattori possono infatti portare ad una degenerazione della plastica, con la formazione di frammenti di piccole dimensioni denominati micro- (< 5 mm) e nano plastiche (< 1 µm) (Fig. 2) da Costa *et al.* (2016).

Ad oggi non si hanno informazioni sull'effettiva quantità dei frammenti nanometrici (nano plastiche) presenti in ambiente marino, in quanto i metodi convenzionali di campionamento prevedono l'utilizzo di reti da plancton, che escludono i frammenti con dimensioni inferiori a 200 - 300 µm (Cózar *et al.*, 2014).

In termini di impatto sugli organismi marini, le macro- e le microplastiche possono causare intrappolamento, soffocamento ed accumularsi nel tratto digerente degli organismi esposti, con elevato rischio di morte (Laist, 1997; Wright *et al.*, 2013). Al contrario, gli effetti delle nano plastiche sono pressoché sconosciuti e destano preoccupazione a causa delle specifiche proprietà legate alle dimensioni nanometriche. Com'è noto per i nano materiali, le caratteristiche fisico-chimiche delle nano plastiche possono differire molto da quelle del materiale polimerico di grandi dimensioni (Klaine *et al.*, 2012), avendo un'elevata area superficiale rispetto al volume ed una reattività sconosciuta. Le ridotte dimensioni (< 1 µm) rendono le nano plastiche adatte ad essere facilmente ingerite dagli organismi (Cole *et al.*, 2013), ad attraversare le barriere biologiche e a penetrare nei

tessuti (Kashiwada, 2006), accumulandosi di conseguenza negli organi (von Moos *et al.*, 2012). La loro elevata area superficiale, inoltre, può portare ad un notevole assorbimento di sostanze tossiche quali derivati del petrolio, pesticidi e composti organo-alogenati (Rios *et al.*, 2007; Rochman *et al.*, 2013; Velzeboer *et al.*, 2014).

Considerando la difficoltà nel quantificare la presenza di nano plastiche in ambiente marino e nel determinare le loro specifiche proprietà fisico-chimiche, il loro impatto sugli organismi marini può essere valutato tramite test di laboratorio utilizzando nano particelle polimeriche ovvero nanoplastiche come modello. Per questo scopo, le più utilizzate negli studi ecotossicologici sono le nano particelle di polistirene (PS NP), ovvero particelle di dimensioni nanometriche (< 100 nm) aventi un nucleo di polistirene e diverse cariche superficiali (Stone *et al.*, 2010). Queste ultime sono generalmente riconducibili alla presenza di gruppi carbossilici (-COOH) e quindi dotate di cariche negative, ed amminici (-NH₂) carichi positivamente (Casado *et al.*, 2013). Tali gruppi conferiscono alle nano particelle di polistirene una struttura molecolare simile a quella delle proteine e, di conseguenza, ne facilitano il passaggio attraverso le membrane cellulari (Salvati *et al.*, 2011; Rossi *et al.*, 2014). Studi *in vitro* condotti su linee cellulari umane hanno messo in evidenza come la presenza di cariche positive possa causare un'elevata tossicità, al contrario di quelle negative per le quali non si osservano particolari effetti tossici (Bexiga *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2013).

Negli ecosistemi marini costieri il fito- e lo zooplancton hanno un ruolo chiave in quanto rappresentativi dei due livelli basilari della rete trofica

(Behrenfeld *et al.*, 2006), ma allo stesso tempo costituiscono dei potenziali bersagli biologici per le nano plastiche in quanto esposti in colonna d'acqua.

Recenti studi hanno mostrato come le nano particelle di polistirene aderiscano alla superficie del fitoplancton e sono in grado di ridurre l'attività fotosintetica (Bhattacharya *et al.*, 2010). Ricerche condotte nel nostro laboratorio mostrano chiari effetti sullo zooplancton sia in termini di accumulo di polistireni con cariche negative che di alterazioni nel nuoto e nello sviluppo da parte di polistireni carichi positivamente (Bergami *et al.*, 2016). Gli effetti osservati quali adesione delle nano plastiche alla superficie esterna degli organismi, ridotta mobilità e aumento sostanziale della frequenza delle mute rispetto agli organismi del gruppo di controllo sono stati ritenuti capaci di provocare effetti a lungo termine e stimolato quindi il proseguimento dello studio in tal senso. In particolare, quest'ultimo effetto potrebbe rappresentare un possibile meccanismo di difesa del microcrostaceo per rimuovere le PS-NH₂ adese esternamente, le quali possono infatti limitare la capacità di nuoto e di conseguenza la sopravvivenza delle larve. Al contempo questi frequenti cambi di muta potrebbero compromettere il bilanciamento energetico e quindi la crescita della larva sul lungo periodo. Simili differenze ascrivibili alla carica superficiale delle nano particelle di polistirene sono stati noi descritti anche nel riccio di mare, quali l'accumulo di nano plastiche con cariche negative (PS-COOH) nel tratto digerente e gravi malformazioni durante lo sviluppo embrionale causate da quelle cariche positivamente (PS-NH₂) (Della Torre *et al.*, 2014).

Effetti delle nano plastiche sul plancton marino

Gli effetti a lungo termine delle nano plastiche su esemplari di alga marina della specie *Dunaliella tertiolecta* e su un microcrostaceo planctonico *Artemia franciscana*, entrambi alla base della rete trofica marina e rispettivamente preda e predatore sono stati recentemente studiati nel nostro laboratorio al fine di comprendere l'eventuale acuirsi dei feno-

meni di tossicità sub letale osservati a breve termine in condizioni di esposizione prolungata (Fig. 3).

D. tertiolecta è una microalga verde, appartenente all'ordine delle *Chlamydomonadales*, caratterizzata da una singola cellula flagellata (Oren, 2005) e ritenuta un buon modello per effettuare saggi ecotossicologici attraverso la valutazione dell'inibizione della sua crescita (NIWA, 1998; ICRAM, 2002).

A. franciscana è un microcrostaceo filtratore non selettivo, appartenente all'ordine degli *Anostraca*, anch'esso largamente utilizzato in test ecotossicologici ma come modello di zooplancton marino (Nunes *et al.*, 2006) e recentemente anche impiegato per studiarvi l'effetto dei nano materiali (Libralato, 2014; Bergami *et al.*, 2016).

Abbiamo utilizzato sempre i due modelli di nano particelle di polistirene, il polistirene carbossilico (PS-COOH), avente carica negativa e dimensione media di 40 nm, ed il polistirene amminico (PS-NH₂), dotato di carica positiva e dimensione media di 52 nm. È stato scelto altresì di aggiungere nano particelle fluorescenti (505 nm eccitazione, 515 nm emissione) di polistirene carbossilico (PS-COOH) al fine di poterne tracciare la distribuzione, mediante microscopia a fluorescenza, all'interno degli organismi esposti.

Conformemente alle raccomandazioni della

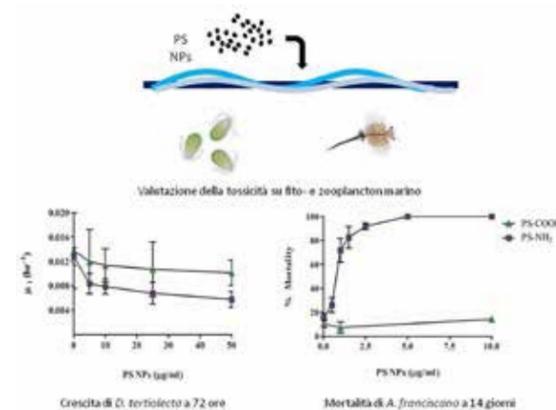


Figura 3. Valutazione dell'impatto delle nanoplastiche su fito- e zooplancton marino: esposizione di organismi modello (microalga verde *D. tertiolecta* e microcrostaceo *A. franciscana*) a due tipi di nanoparticelle di polistirene (carbossiliche, PS-COOH ed amminiche, PS-NH₂) tramite test di inibizione della crescita algale (ISO, 2006) e tossicità a lungo-termine (Savorelli *et al.*, 2007).

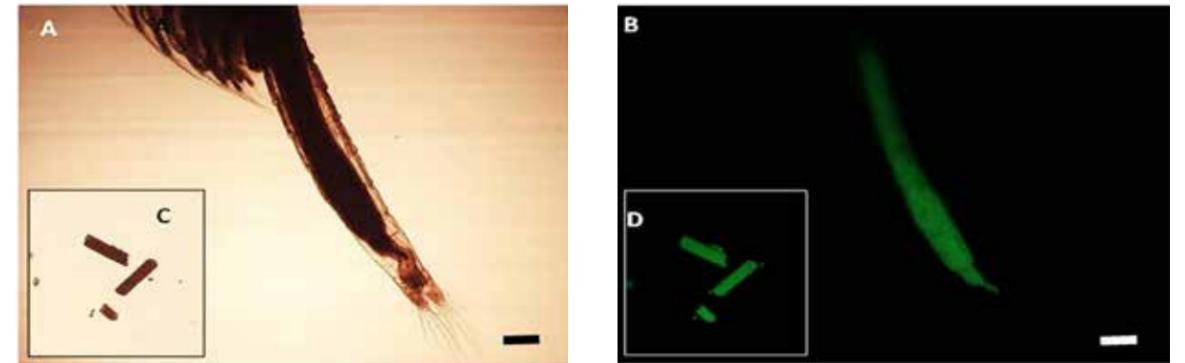


Figura 4. Accumulo di nanoparticelle di polistirene carbossiliche (PS-COOH) fluorescenti in sub-adulti del microcrostaceo *A. franciscana* dopo 14 giorni di esposizione a 10 µg/ml (test di tossicità a lungo termine). Gli aggregati fluorescenti sono stati osservati sia all'interno del tratto digerente degli animali (A, B), sia nei pellet fecali (C, D). Scala dimensionale: 500 µm.

commissione scientifica europea sui contaminanti emergenti (SCENIHR, 2007), attraverso i test ecotossicologici si è descritto il comportamento delle nano particelle di polistirene nei mezzi acquatici di coltura algale e di acqua di mare. Nei due mezzi in cui le alghe sono state esposte ai polistireni è stato osservato un diverso comportamento delle nano particelle, con un'elevata aggregazione di quelle carbossiliche (PS-COOH aggregati di oltre 1000 nm) ed una maggiore dispersione di quelle amminiche (PS-NH₂, dimensione media di 196 nm). Questo comportamento è molto importante, in quanto una forte aggregazione delle nano particelle potrebbe comportare una minore capacità di venire a contatto con organismi come alghe e crostacei planctonici; al contrario, una maggiore dispersione manterrebbe le nano particelle nella colonna d'acqua e quindi più facilmente a contatto con gli stessi organismi. Sulla base dei risultati ottenuti in acqua di mare, le microalghe e i microcrostacei vengono in contatto con aggregati di piccole dimensioni di polistirene amminico (PS-NH₂ positive) e con aggregati molto più grandi di polistirene carbossilico (PS-COOH negative).

Test di inibizione della crescita algale su *Dunaliella tertiolecta*

In Figura 4 A è presentato il tasso di crescita medio (μ) delle microalghe esposte a concentrazioni

crecenti di nano particelle di polistirene. Le nano particelle cariche positivamente causano una maggiore inibizione della crescita algale, con circa il 61% di inibizione alla concentrazione massima di 50 µg/ml e con un valore di EC₅₀ (Effect Concentration, Concentrazione in grado di provocare un effetto nel 50% degli organismi esposti) pari a 12,99 µg/ml. Al contrario, le nano particelle cariche negativamente non hanno alcun effetto sulla crescita delle microalghe, con un'inibizione massima del 25,37% corrispondente ad una concentrazione di 50 µg/ml.

Questi dati indicano anche una maggiore tossicità delle nano particelle con carica superficiale positiva, il che è in accordo con altri studi su microalghe d'acqua dolce; in questi ultimi, infatti, è stata riportata una limitata tossicità del polistirene carbossilico nella specie *Scenedesmus obliquus* (Beseling *et al.*, 2014), in contrasto con una forte inibizione della crescita in alghe come *Raphidocelis subcapitata* (EC₅₀ di 0,58 µg/ml) (Casado *et al.*, 2013).

Al fine di evidenziare eventuali alterazioni morfologiche riconducibili alla tossicità osservata per le PS-NH₂ positive, è stata condotta un'analisi approfondita sulla struttura cellulare delle microalghe. In Figura 5 sono mostrate le alterazioni a livello della membrana plasmatica nelle microalghe trattate con 5 µg/ml di PS-NH₂ (frecche rosse in Fig. 5D), rispetto al gruppo di controllo (Fig. 5A) e alle altre concentrazioni testate. In particolare, si può notare come nelle cellule algali esposte a PS-COOH non siano rilevabili alterazioni mor-

fologiche alle concentrazioni testate (Fig. 5E-F), in accordo con la bassa tossicità riscontrata nel test di inibizione della crescita algale (Fig. 4A).

È la prima volta che tali alterazioni vengono documentate; siccome le nano plastiche sono suscettibili di ripercuotersi in senso negativo sulla catena trofica marina, è ovvio che dovranno essere incrementate ulteriori ricerche in questo senso.

Test di tossicità a lungo termine su *Artemia franciscana*

La potenziale tossicità delle nano particelle di polistirene è stata studiata anche nella larva del microcrostaceo *A. franciscana* (consumatore di alghe) esposta per 14 giorni a nano particelle di polistirene, in accordo con il metodo descritto da Savorelli *et al.* (2007). Durante il test, le soluzioni contenenti le nano plastiche ed il gruppo controllo (con solo acqua di mare) sono state rinnovate ogni 2–3 giorni e le larve alimentate con *D. tertiolecta* con la stessa frequenza.

In Figura 4B si osserva un incremento di mortalità all'aumentare della concentrazione di polistirene carico positivamente (PS-NH₂, LC₅₀ di 0,83 µg/ml); operando invece con polistirene carico negativamente non è riscontrabile alcuna modifica alla crescita delle larve, analogamente a quanto avviene per il gruppo di larve esposte alla sola acqua di mare (fino a 10 µg/ml). Il trattamento prolungato con PS-NH₂ fino a 14 giorni ha causato una consistente mortalità delle larve (LC₅₀ = 0,83 µg/ml). Relativamente alla tossicità di PS-NH₂ nelle due specie considerate quale modello, è opportuno rimarcare che vi è una differenza di due ordini di grandezza tra il valore della concentrazione corrispondente al 50% dell'effetto (LC₅₀ di 0,83 µg/ml), calcolato nel test di tossicità a lungo termine, rispetto al valore di EC₅₀ pari a 12,99 µg/ml delle microalghe. Ciò dimostra come il contatto prolungato con questi polistireni registri in modo puntuale quanto causato dalle nano particelle cariche positivamente sia sulle microalghe, sia sul microcrostaceo. Riguardo a quelle cariche

negativamente, si conferma quanto osservato nel test di tossicità a breve termine (48h) con un significativo accumulo di aggregati di nano particelle (PS-COOH fluorescenti verdi) nel tratto digerente degli animali e anche tracce nelle loro feci a suggerire un fenomeno di escrezione (Fig. 6). L'ingestione e l'accumulo di microplastiche di polistirene nel tratto digerente di diverse specie appartenenti allo zooplancton marino sono stati descritti in precedenza da Cole *et al.* (2013) e da Lee *et al.* (2013), riscontrando risultati diversi a seconda delle specie, del loro stadio vitale e delle dimensioni delle plastiche.

In generale, l'accumulo di PS-COOH sul lungo termine non sembra comportare nessuna modifica allo sviluppo delle larve anche se, come ipotizzato per le microplastiche, la presenza di aggregati di nano particelle di polistirene nel tratto digerente degli organismi potrebbe limitare la loro capacità di predare e causare alterazioni fisiologiche (Cole *et al.*, 2013; Besseling *et al.*, 2014) o favorire la biodisponibilità di eventuali contaminanti idrofobici adsorbiti sulle nano plastiche stesse (Rochman *et al.*, 2013; Velzeboer *et al.*, 2014). In aggiunta, il trasferimento di questi frammenti di plastiche invisibili nella rete trofica marina fino ai predatori terminali (uomo incluso), già descritto per le microplastiche da Farrell *et al.* (2013) e da Setälä *et al.* (2014), non può essere escluso.

Conclusioni

I dati esposti in questo articolo suggeriscono che solo le nano plastiche (< 1 µm), le cosiddette plastiche “invisibili”, rappresentano una delle principali minacce per gli ecosistemi marini in quanto possono incidere sulla sopravvivenza dei loro organismi chiave: i planctonici. In particolare è stato documentato come la presenza di cariche sulla superficie delle nano plastiche possa esercitare un diverso impatto su tali organismi in termini di accumulo e tossicità. Tenendo in considerazione il loro accumulo nel tratto digerente dello zooplancton, si può inoltre ipotizzare un processo di

bio-magnificazione ovvero di arricchimento lungo la rete trofica marina, a partire dai livelli più bassi (plancton) fino ai predatori terminali (pesci e cetacei) incluso l'uomo. La conoscenza dei danni provocati dalle nano plastiche deve essere incre-

mentata da ulteriori studi che ne identifichino la natura, la dimensione e la carica superficiale. La cosa più ovvia che nel frattempo possiamo fare, per salvaguardare l'ambiente marino, è quella di ridurre il loro utilizzo.

Si ringraziano: il Prof. Kenneth H. Dawson del Center for Bio-Nano Interactions della University College di Dublino per aver gentilmente fornito le nano particelle di polistirene; il Prof. Andrea Massimo Atrai del Dipartimento di Biotecnologie, Chimica e Farmacia dell'Università degli Studi di Siena per l'utilizzo della strumentazione per la caratterizzazione delle nano particelle presso il Centro di Ricerca Interuniversitario per i Sistemi Medici Avanzati (CRISMA) di Colle di Val d'Elsa (Siena); Marianna Uva e Lorenzo Mencuccini per l'assistenza tecnica; la Dott.ssa Loredana Manfra, dell'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) di Roma, per la consulenza sul test di tossicità a lungo termine con Artemia franciscana; la Dott.ssa Enrica Savorelli dell'ARPA Emilia Romagna, per la consulenza sul test di inibizione della crescita algale con Dunaliella tertiolecta.

Opere citate

- Andrady A.L. (2011) - *Microplastics in the marine environment*. Marine Pollution Bulletin, 62: 1596–1605.
- APHA-AWWA-WEF (1999) - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation, 20 th ed., 1220.
- Bergami E., Bocci E., Vannuccini M.L., Monopoli M., Salvati A., Dawson K.A. & Corsi I. (2016) - *Nano-sized polystyrene affects feeding, behavior and physiology of brine shrimps Artemia franciscana larvae*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 123: 18–25.
- Besseling E., Wang B., Lurling M. & Koelmans A. A. (2014) - *Nanoplastic affects growth of S. obliquus and reproduction of D. magna*. Environmental Science and Technology, 48: 12336–12343.
- Bexiga M.G., Varela J.A., Wang F., Fenaroli F., Salvati A., Lynch I., Simpson J.C. & Dawson K.A. (2011) - *Cationic nanoparticles induce caspase 3-, 7- and 9-mediated cytotoxicity in a human astrocytoma cell line*. Nanotoxicology, 5: 557-67.
- Bhattacharya P., Lin S., Turner J.P. & Ke P.C. (2010) - *Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis*. Journal of Physical Chemistry C, 114: 16556–16561.
- Behrenfeld M.J., O'Malley R.T., Siegel D.A., McClain C.R., Sarmiento J.L., Feldman G.C., Allen J. Milligan A.J., Falkowski P.G., Letelier R.M. & Boss E.S. (2006) - *Climate-driven trends in contemporary ocean productivity*. Nature, 444: 752-755.
- Cadee G.C. (2002) - *Seabirds and floating plastic debris*. Marine Pollution Bulletin, 44 (11): 1294–1295.
- Casado M.P., Macken A. & Byrne H.J. (2013) - *Ecotoxicological assessment of silica and polystyrene nanoparticles assessed by a*

- multitrophic test battery*. Environment International, 51: 97-105.
- Clapham P.J., Young S.B. & Brownell J.R. (1999) - *Baleen whales: conservation issues and the status of the most endangered populations*. Mammal Review, 29: 35–60.
- Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., Goodhead R., Moger J. & Galloway T.S. (2013) - *Microplastic ingestion by zooplankton*. Environmental Science and Technology, 47: 6646-55.
- Cózar A., Echevarría F., González-Gordillo I.J., Irigoien X., Úbeda B., Hernández-León S., Palmae A.T., Navarroz S., García-de-Lomas J., Ruiz A., Fernández-de-Puelles M. L. & Duarte C.M. (2014) - *Plastic debris in the open ocean*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28): 10239–10244.
- da Costa J.P., Santos P.S.M., Duarte A.C., Rocha-Santos T. (2016) - *(Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects*. Science of the Total Environment, 566: 15–26.
- Della Torre C., Bergami E., Salvati A., Faleri C., Cirino P., Dawson K.A. & Corsi I. (2014) - *Accumulation and embryotoxicity of polystyrene nanoparticles at early stage of development of sea urchin embryos Paracentrotus lividus*. Environmental Science and Technology, 48: 12302–12311.
- Derraik J.G.B. (2002) - *The pollution of the marine environment by plastic debris: a review*. Marine Pollution Bulletin 44: 842–852.
- Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Jose C., Borerro J.C., Galgani F., Ryan P.G., Reisser J. (2014) - *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea*. PLoS ONE, 9(12): e111913.
- Farrell P. & Nelson K. (2013) - *Trophic level transfer of microplastic: Mytilus edulis (L.) to Carcinus maenas (L.)*. Environmental Pollution, 177: 1–3.
- Hall J.A. & Golding L.A. (1998) - *Standard methods for whole effluent toxicity testing: development and application*. Report no.

MFE80205. NIWA report for the Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand.

ICRAM (2002) *Attività sperimentale alghe* (a cura di Tornabè A. & Sarni A.), in: *Sperimentazione di test tossicologici su organismi marini ai fini dell'applicabilità del D.D. 23.12.2002*, 3: 19-35.

Kashiwada S. (2006) - *Distribution of nanoparticles in the sea-through medaka (Oryzias latipes)*. Environmental Health Perspectives, 114: 1697-1702.

Kach D.J. & Ward J.E. (2008) - *The role of marine aggregates in the ingestion of picoplankton-size particles by suspension-feeding molluscs*. Marine Biology, 153(5): 797-805.

Klaine S.J., Koelmans A.A., Horne N., Carley S., Handy R.D., Kapustka L., Nowack B. & von der Kammer F. (2012) - *Paradigms to assess the environmental impact of manufactured nanomaterials*. Environmental Toxicology and Chemistry, 31: 3-14.

Klar M., Gunnarsson D., Prevodnik A., Hedfors C. & Dahl U. (2014) - *Everything you (don't) want to know about plastics*. Report Naturskyddsforeningen.

Laist D.W. (1987) - *Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment*. Marine Pollution Bulletin 18: 319-326.

Laist D.W. (1997) - *Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records*, in: *Marine Debris – Sources, Impacts and Solutions*, Coe J.M. & Rogers D.B. (Eds.). Springer-Verlag, New York, 99-139.

Lee K.W., Shim W.J., Kwon O.Y. & Kang J.H. (2013) - *Size-dependent effects of micropolystyrene particles in the marine copepod Tigriopus japonicus*. Environmental Science and Technology, 47: 11278-11283.

Libralato G. (2014) - *The case of Artemia spp. in nanoeotoxicology*. Marine Environmental Research 101: 38-43.

Lunov O., Syrovets T., Loos C., Beil J., Delacher M., Tron K., Nienhaus G.U., Musyanovych A., Mailander V., Landfester K. & Simmet T. (2011) - *Differential Uptake of Functionalized Polystyrene Nanoparticles by Human Macrophages and a Monocytic Cell Line*. ACS Nano, 5: 1657-1669.

Makridis P. & Vadstein O. (1999) - *Food size selectivity of Artemia franciscana at three developmental stages*. Journal of Plankton Research, 21: 2191-2201.

Manfra L., Savorelli F., Pisapia M., Magaletti E. & Cicero A.M. (2012) - *Long-term mortality lethal toxicity test with the crustacean Artemia franciscana*. Journal of Visualized Experiments, 62: 2182-2185.

Matranga V. & Corsi I. (2012) - *Toxic effects of engineered nanoparticles in the marine environment: model organisms and molecular approaches*. Marine Environmental Research, 76: 32-40.

Nunes B.S., Carvalho F.D., Guilhermino L.M. & Van Stappen G. (2006) - *Use of the genus Artemia in ecotoxicity testing*. Environmental Pollution, 144: 453-462.

Oren A. (2005) - *A hundred years of Dunaliella research: 1905-2005*. Saline systems, 1(2): 1-14.

Plastics Europe (2013) - *Plastics – The Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste*

data. Avenue E. van Nieuwenhuysse 4/3 1160 Brussels – Belgium.

Rios L.M., Moore C. & Jones P.R. (2007) - *Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment*. Marine Pollution Bulletin, 54: 1230-1237.

Rochman C.M., Manzano C., Hentsche B.T., Simonich S.L. & Hoh E. (2013) - *Polystyrene plastic: a source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment*. Environmental Science and Technology, 47: 13976-84.

Rossi G., Barnoud J. & Monticelli L. (2014) - *Polystyrene Nanoparticles Perturb Lipid Membranes*. The Journal of Physical Chemistry Letters, 5: 241-246.

Salvati A., Aberg C., dos Santos T., Varela J., Pinto P., Lynch I. & Dawson K.A. (2011) - *Experimental and theoretical comparison of intracellular import of polymeric nanoparticles and small molecules: Toward models of uptake kinetics*. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, 7: 818-826.

Savorelli F., Palazzi D., Gorbi G., Invidia M., Sei S., Magaletti E. & Gelli F. (2007) - *Messa a punto di una metodologia di saggio a 14 giorni su Artemia franciscana e A. partenogenetica*. Biologia Ambientale, 21: 27-36.

SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) (29 November 2007) - *Opinion on the scientific aspects of the existing and proposed definitions relating to products of nanoscience and nanotechnologies*. Brussels, Belgium: European Commission.

Setälä O., Fleming-Lehtinen V. & Lehtiniemi M. (2014) - *Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web*. Environmental Pollution, 185: 77-83.

Thompson R.C., Swan S.H., Moore C.J. & vom Saal F.S. (2009) - *Our plastic age*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 1973-1976.

Tomas J. & Guitart R. (2002) - *Marine debris ingestion in loggerhead sea turtles, Caretta caretta, from the Western Mediterranean*. Marine Pollution Bulletin, 44 (3), 211-216.

Velzeboer I., Kwadijk C.J.A.F. & Koelmans A.A. (2014) - *Strong sorption of PCBs to nanoplastics, microplastics, carbon nanotubes and fullerenes*. Environmental Science and Technology, 48: 4869-4876.

von Moos N., Burkhardt-Holm P. & Koehler A. (2012) - *Uptake and effects of microplastics on cells and tissues of the blue mussel Mytilus edulis L. after experimental exposure*. Environmental Science and Technology, 46: 11327-11335.

Wang F., Bexiga M. G., Anguissola S., Boya P., Simpson J. C., Salvati A. & Dawson K. A. (2013) - *Time resolved study of cell death mechanisms induced by amine-modified polystyrene nanoparticles*. Nanoscale, 5: 10868-10876.

Wegner A., Besseling E., Foekema E.M., Kamermans P. & Koelmans A.A. (2012) - *Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (Mytilus edulis L.)*. Environmental Toxicology and Chemistry, 31: 2490-2497.

Wright S.L., Thompson R.C. & Galloway T.S. (2013) - *The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review*. Environmental Pollution, 178: 483-492.

Qualità dell'aria in Toscana: variazioni stagionali della concentrazione di pesticidi di uso corrente

Victor H. Estellano ^{a,b}, Karla Pozo ^{a,b,c}, Christos Efstathiou ^b, Katerine Pozo ^d, Silvano Focardi ^a, Simonetta Corsolini ^a

^a Università di Siena, Dipartimento di Scienze fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Mattioli 4, 53100 Siena.

^b Masaryk University, Research Centre for Toxic Compounds in the Environment (RECETOX), Kamenice 753/5, 625 00 Brno, Repubblica Ceca.

^c Universidad Católica Santísima Concepción, Facultad de Ciencias, Alonso de Ribera 2850, P.C. 407 01 29, Concepción, Chile.

^d Universidad Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Longitudinal Norte S/N, Temuco, Chile.

Introduzione

Tra i composti chimici di sintesi, i pesticidi sono i più usati a livello globale. Essi sono sintetizzati in laboratorio con lo scopo di causare un effetto biologico, ovvero tossico, sugli organismi e per tale ragione vengono rilasciati nell'ambiente in grandi quantità, spesso senza controllo.

Il termine pesticida deriva dall'inglese *pesticide* che significa “sostanza per distruggere organismi nocivi per colture, allevamenti, derrate alimentari immagazzinate (farine, grani, ecc.), ecc.” (Oxford English Dictionary). I pesticidi comprendono quindi miscele tecniche in grado di uccidere una o più specie di organismi e, in base al tipo di organismo cui sono dirette, si parla di insetticidi, fungicidi, acaricidi, nematocidi, molluschicidi, rodenticidi, erbicidi.

A partire dai primi anni '60 del secolo scorso l'uso dei pesticidi è costantemente cresciuto (Yao *et al.*, 2008), con una stima complessiva di circa 2,5x10⁹ kg/anno (Alcock *et al.*, 2003). In Italia, secondo quanto calcolato nel 2010 dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), ci sono circa 13.000 prodotti e più di 1.000 principi attivi registrati. Nel 2009 sono state utilizzate circa 148.000 tonnellate di pesticidi con 74 principi attivi, che rappresentano il 2-5% del consumo globale. In Toscana ne sono state impiegate circa 7.000 tonnellate, corrispondenti approssimativamente al 5% del consumo italiano (ISTAT, 2010) (Fig. 1).

I pesticidi clorurati sono stati prodotti fino agli anni '70 - '80 del secolo scorso; successivamente sono stati banditi, inizialmente nei paesi industria-

lizzati, a causa della loro elevata tossicità. Da allora, nuovi principi attivi sono stati creati in laboratorio e commercializzati, spesso senza testarne la tossicità, e il loro uso è in continuo aumento. Tali sostanze, denominate pesticidi di uso corrente (*current use pesticide*, CUP), comprendono insetticidi organici fosforati (*organic phosphate insecticide*, OPI), erbicidi acidi e neutri, fungicidi, ecc. (Cope *et al.*, 2004). Gli erbicidi sono usati per ridurre o eliminare piante infestanti o non volute in agricoltura e nella gestione di boschi e prati (Environmental Encyclopedia, 2003). L'ISTAT (2010) riportava che in Toscana gli erbicidi rappresentavano, nel 2008-2009, il 10% dei principi attivi usati in agricoltura e i più usati erano gli erbicidi organofosfati (70% ca, del totale). Le province con il più elevato uso erano Pistoia (56%), Siena (13%), Pisa (10%) (Fig. 1). I fungicidi usati principalmente in Toscana nel 2008-2009 erano inorganici a base di solfuri (67%), rame (14%) e organosolforati (10%) e le province con il maggior consumo erano Siena (21%), Firenze (18%) e Grosseto (13%) (Fig. 1) (ISTAT, 2010). Il 33% degli insetticidi usati in Toscana sono insetticidi organici fosforati (ISTAT, 2010).

Le aziende produttrici sostengono che i pesticidi di uso corrente sono meno persistenti dei pesticidi clorurati di vecchia generazione in quanto sono meno lipoaffini, meno persistenti e meno soggetti a bioaccumulo (Gouin *et al.*, 2008a). In realtà, molti CUP sono persistenti e, in determinate condizioni, posseggono potenziale di trasporto atmosferico a lungo e medio raggio (Muir *et al.*, 2004; Yao *et al.*, 2006, 2007). Pozo *et al.* (2009) e Hogarh *et al.* (2012) hanno mostrato come sia possibile valutare la presenza

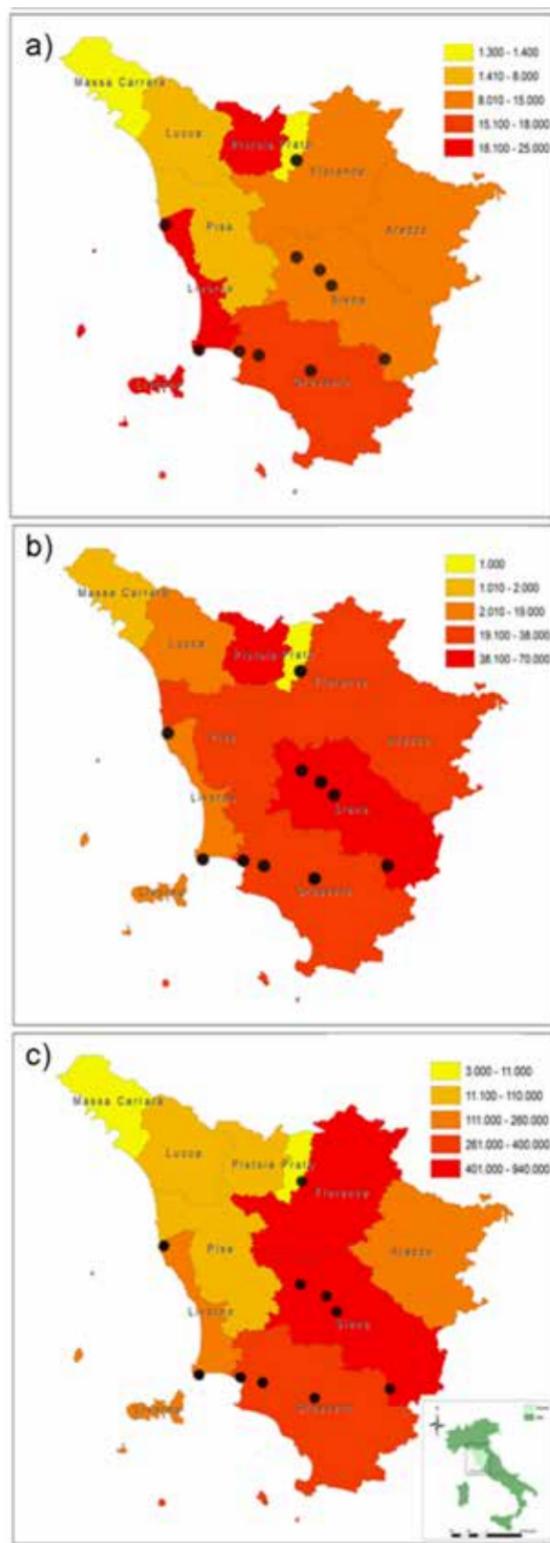


Fig. 1 – Uso di pesticidi in Toscana nel 2009: a) fungicidi, b) erbicidi, c) insetticidi (i punti neri indicano i luoghi di campionamento). Stime basate su dati dell'Istituto nazionale di statistica (ISTAT, 2010).

di contaminanti organici persistenti (POP) nell'aria usando campionatori passivi di aria (PAS) dotati di dischi in schiuma di poliuretano (PUF). Per esempio tali campionatori sono stati usati con successo per la determinazione di pesticidi di uso corrente in campioni di aria del Canada (Yao *et al.*, 2006, 2007, 2008; Gouin *et al.*, 2008a), del Costa Rica (Gouin *et al.*, 2008b) e in quelli di 20 città in vari paesi, nell'ambito del *Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) Network* (Koblizkova *et al.*, 2012), una rete di gruppi di ricerca che ha lo scopo di monitorare la qualità dell'aria a livello globale. A tutt'oggi, soprattutto in Italia, le informazioni sulle concentrazioni di pesticidi di uso corrente nell'atmosfera rimangono scarse.

Questo è il motivo per cui dal 2008 al 2009 sono stati da noi installati campionatori passivi in 10 siti della Toscana, interessanti aree rurali e urbane, al fine di valutare le concentrazioni di alcuni pesticidi di uso corrente e le loro variazioni stagionali. Sulla base dei risultati è stata poi stabilita l'origine delle masse d'aria potenzialmente contaminate tramite il modello delle retrotraiettorie HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory* - <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). Particolare attenzione è stata rivolta infine agli spostamenti dei pesticidi dalle aree agricole, dove sono usati, a quelle urbane.

Reperimento dei campioni

AREE DI CAMPIONAMENTO

I siti in cui sono stati installati i campionatori passivi di aria erano tutti in Toscana. Il 5,3-7,4% del suolo in Toscana è coperto da costruzioni; il restante è occupato da coltivazioni (30% ca) o copertura boscosa (Bindi, 2008). Come detto in precedenza, tali aree sono state distinte in urbane e rurali (Tabb. 1-2; Fig. 2): le prime, caratterizzate da elevata densità di popolazione (20.000-190.000 abitanti/km²), comprendono Prato (U3-Pr), Livorno (U6-L), Grosseto (U5-G), Siena (U2-S), Piombino (U1-P) e Follonica (U4-F); le seconde, con pochi insediamenti e bassa densità di popolazione, includono invece San Gimignano (R3-SG), Fogliano Grosso (R4-FG), Scarlino (R1) e Abbadia San Salvatore (R2-ASS).

Tabella 1 - Descrizione delle località urbane e rurali nelle quali è stata campionata l'aria

Aree urbane	
Prato (U3-Pr)	È la città di maggiori dimensioni, con una popolazione di 186.000 abitanti. Fa parte dell'area metropolitana di Firenze-Pistoia-Prato con oltre 1.500.000 di abitanti. La sua economia è basata sull'industria tessile.
Livorno (U6-L)	Prima città portuale della Toscana e importante centro industriale; ospita 160.000 abitanti.
Grosseto (U5-G)	Città commerciale della Maremma Toscana con 80.000 abitanti. L'area circostante è intensamente e diversamente coltivata.
Siena (U2-S)	Città di quasi 60.000 abitanti con attività principali il turismo, l'artigianato e l'industria farmaceutica. È situata in un'area prevalentemente coltivata a vite e olivo.
Piombino (U1-P)	Città portuale di circa 35.000 abitanti e seconda area metallurgica dell'Italia centrale.
Follonica (U4-F)	Città turistica con circa 22.000 abitanti situata nel golfo omonimo di fronte all'Isola d'Elba e circondata da zone coltivate. L'area industriale di Scarlino, ad elevato impatto ambientale, si trova in prossimità dell'area urbana.
Aree rurali	
Santa Lucia (R3-SG)	Località molto vicina alla città medievale di San Gimignano (7.000 abitanti) e circondata da coltivazioni di olivo e vite.
Fogliano Grosso (R4-FG)	Località 7 km a sud di Siena, circondata da campi coltivati a graminacee, girasole, olivo e vite.
Scarlino (R1-S)	Paese collinare a sud-est di Follonica, circondato da boschi e da coltivazioni in prevalenza di olivi. È dotato di una vasta area industriale nella pianura sottostante.
Abbadia San Salvatore (R2-ASS)	Paese prevalentemente turistico sulle pendici del Monte Amiata, circa 60 km a sud di Siena. Le attività includono la coltivazione del castagno e la produzione di sughero.

Tabella 2 - Coordinate dei siti di campionamento e informazione sulla durata degli esperimenti (NC = non campionato)

Sito	Latitudine N	Longitudine E	uso	Periodo			
				1-primavera. estate	2-autunno	3-inverno	4-primavera. estate
Piombino	42°56'16.73"	10°30'37.87"	urbano	12-04-08 al 24-07-08	24-07-08 al 23-12-08	23-12-08 al 19-04-09	19-04-09 al 11-08-09
Siena	43°19'56.86"	11°18'49.18"	urbano	31-03-08 al 21-08-08	17-07-08 al 04-10-08	06-10-08 al 30-01-09	N/S
Prato	43°53'07.73"	11°03'27.14"	urbano	06/04/08 al 27-07-08	01-08-08 al 10-11-08	15-11-08 al 27-03-09	18-03-09 al 10-06-09
Follonica	42°55'11.68"	10°45'38.63"	urbano	02-04-08 al 23-07-08	23-07-08 al 05-12-08	05-12-08 al 08-04-09	08-04-09 al 9-11-09
Grosseto	42°45'47.66"	11°07'11.39"	urbano	07-04-08 al 16-07-08	27-09-08 al 06-01-09	06-01-09 al 22-03-09	22-03-08 al 26-07-09
Livorno	43°33'34.70"	10°20'02.43"	urbano	N/S	N/S	06-11-08 al 17-02-09	17-02-09 al 09-07-09
Scarlino	42°54'13.39"	10°52'28.99"	rurale	07-04-08 al 26-09-08	27-09-08 al 06-01-09	N/S	23-03-09 al 12-07-09
Abbadia S.S.	42°52'55.89"	11°40'13.90"	rurale	09-07-08 al 09-09-08	N/S	08-12-08 al 15-03-09	21-03-09 al 21-06-09
San Gimignano	43°27'03.10"	11°03'46.01"	rurale	01-04-08 al 26-06-08	26-06-08 al 26-11-08	26-11-08 al 01-04-09	01-04-09 al 25-07-09
Fogliano G.	43°15'45.18"	11°18'45.22"	rurale	10-05-08 al 08-08-08	08-08-08 al 29-11-08	29-11-08 al 09-04-09	09-04-09 al 04-11-09

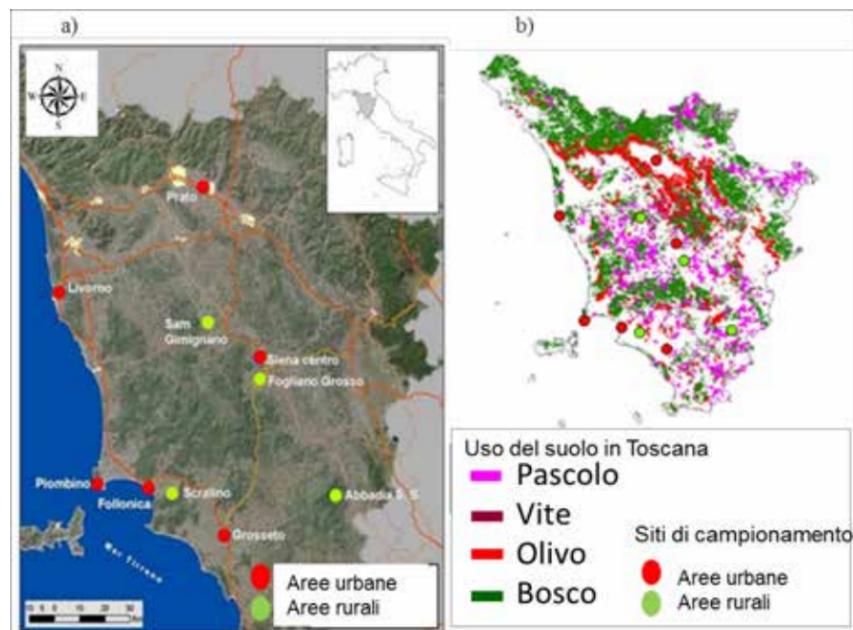


Fig. 2 – a) siti di installazione dei campionatori di aria e b) uso del suolo (modificato da Bindi 2008).

I CAMPIONATORI PASSIVI D'ARIA

I campionatori passivi d'aria sono costituiti da due semisfere in acciaio inox con all'interno una griglia (Fig. 3), sulla quale viene collocato un disco in schiuma di poliuretano (PUF, diametro 20 e 30 cm, spessore 1,35 cm, area della superficie 365 cm², massa 4,4 g, volume 207 cm³, densità 00213 g/cm³). Il funzionamento dei campionatori passivi si basa sull'accumulo/assorbimento di contaminanti, avendo il disco PUF un'alta capacità di ritenzione per tali sostanze; la "cattura" di queste ultime avviene nel lato del filtro esposto all'aria ed è quindi una funzione del coefficiente di trasferimento di massa K_A . Per i dettagli sulle caratteristiche dei PUF e la loro preparazione ed installazione, si rimanda a Estellano *et al.* (2012).

In ciascun sito è stato collocato un campionatore passivo per una durata complessiva di 12 mesi; i dischi PUF sono stati invece sostituiti ogni 3-5 mesi (Tab. 2).

COMPOSTI ANALIZZATI

I campioni d'aria sono stati analizzati per i composti riportati di seguito.

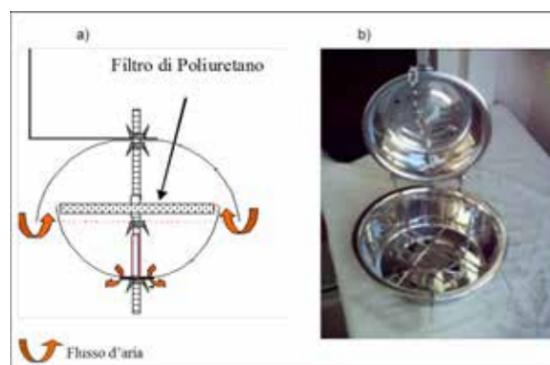


Fig. 3 – a) schema del campionatore; b) immagine reale del campionatore aperto.

INSETTICIDI ORGANICI FOSFORATI (OPI)

- CLORPIRIFOS (CPF). È uno dei pesticidi a largo spettro più usati in agricoltura e nelle aree urbane, ed è impiegato come insetticida in molti tipi di coltivazioni (alberi da frutta, ortaggi, piante ornamentali e altri alberi). Come principio attivo per il trattamento dell'olivo, il CPF non è stato più usato in Italia dal 2012 a seguito della rinuncia volontaria da parte di Makhteshim Agan Italia S.r.l. (Teatro Naturale, 2013). Il tempo stimato del suo dimezzamento (cioè il tempo necessario per la degradazione del 50% del principio attivo, una volta

immesso nell'ambiente) è di 1 giorno circa; ciò implica che potrebbe essere trasportato anche in aree distanti dal luogo in cui esso è impiegato (Muir *et al.*, 2004), non escluse quelle urbane o remote, dove non ci sono coltivazioni. Per esempio, Ruggirello *et al.* (2010) hanno riportato la presenza di clorpirifos in carote di ghiaccio della Regione Artica (a Hotedhalfonna nelle Isole Svalbard), suggerendone la persistenza in condizioni di basse temperature;

- CLORPIRIFOS-METILE (CPF-m). È un insetticida organico fosforato e un acaricida che serve per il controllo di infestanti del suolo e delle foglie quali coleotteri, ditteri e lepidotteri (US-EPA, 2011). Nell'Europa meridionale è tra gli insetticidi più usati, soprattutto nelle coltivazioni di viti, ortaggi e frutta (Munoz *et al.*, 2011);

- MALATIONE (MT). È un pesticida usato principalmente in agricoltura, aree verdi urbane e rurali, nonché contro le zanzare (Gervais *et al.*, 2009). Nell'Unione Europea è stato prima vietato nel 2007 a causa della sua possibile genotossicità (Direttiva 2007/389/CE), poi reintrodotta nel 2010 come principio attivo (Direttiva 2007/389/CE);

- TERBUFOS (TB), DIAZINONE (DZ). Sono insetticidi organici fosforati adibiti al controllo degli insetti del suolo in coltivazioni di granturco, barbabietola da zucchero e rape (EC/AC, 1993), nonché di piante ornamentali, da frutto e ortaggi (ATSDR, 2008).

ERBICIDI

- DACTHAL (DT). È un potente erbicida di natura semi-volatile e con elevato potenziale di trasporto a lungo raggio (Muir *et al.*, 2004; Yao *et al.*, 2007). Impiegato soprattutto per la coltivazione di ortaggi, in Italia la licenza per il suo uso è stata revocata nel marzo 2011 (Di Lonardo & Sciarra, 2011);

- TRIFLURALIN (TF). È prodotto per controllare un vasto spettro di piante infestanti annuali in agricoltura, orticoltura, viticoltura e giardinaggio (UNECE, 2007; Coscollà *et al.*, 2010). Su base sperimentale è stato accertato che il 90% del trifluralin applicato alla superficie del suolo volatilizza in 6 giorni (Rice *et al.*, 2002). Avendo in aria una vita media di 7 giorni (Mackay *et al.*, 2006),

si suppone possieda un potenziale di trasporto atmosferico su scala regionale (Gouin *et al.*, 2008a). Nell'Unione Europea è vietato dal 2009 (Commission Decision 2007/629/EC);

- PENDIMETALIN (PD). È usato per il controllo della maggior parte delle piante infestanti annuali delle coltivazioni di granturco, patate, riso, cotone, soia, tabacco, arachide e girasole (Coscollà *et al.*, 2010).

FUNGICIDI

- CLOROTALONIL (CT). Attivo a largo spettro su ortaggi, alberi e altre coltivazioni, è semi-volatile e considerato persistente (Yao *et al.*, 2007).

ESTRAZIONE DEI DISCHI PUF

La prima fase delle analisi, della durata di 24 ore, è consistita nell'estrazione dei contaminanti dai dischi PUF. Per fare ciò è stata seguita la tecnica del Sistema Soxhlet che prevede la loro separazione dalle altre sostanze tramite solventi specifici quali, ad esempio, l'etere di petrolio. Dopo aver aggiunto uno standard di recupero (Mirex in questo caso, Estellano *et al.*, 2012) al campione ottenuto, questo è stato concentrato mediante un evaporatore rotante (Rotavapor) e quindi trasferito in un altro solvente (iso-octano) idoneo alla fase analitica successiva.

GAS CROMATOGRAFIA - SPETTROMETRIA DI MASSA (GC-MS)

L'identificazione e quantificazione dei composti viene generalmente effettuata per mezzo di un gascromatografo associato ad uno spettrometro di massa (GC/MS). Nella fattispecie sono stati usati un GC Trace 2000 (dotato di autocampionatore AS3000) e uno spettrometro di massa con rilevatore a trappola ionica MS PolarisQ (ThermoFinnigan). I dettagli del metodo strumentale seguito sono reperibili in Estellano *et al.* (2012).

VOLUME D'ARIA DEL CAMPIONE

Per il calcolo della concentrazione dei pesticidi di uso corrente nei campioni di aria sono state considerate le metodologie indicate da Yao *et al.* (2007), Gouin *et al.* (2008) e Koblizkova *et al.* (2012), che, in sintesi, prevedono la normalizzazione della quantità di ogni contaminante presente nel disco (nano-

grammi di contaminanti rilevati nel disco campionario) all'effettivo volume di aria filtrata (V_{air}/m^3). Nella nostra analisi, tale volume di aria era pari a 170-500 m^3 per ogni campionario passivo.

CONTROLLO DI QUALITÀ

La qualità (efficienza, errori) delle procedure seguite in laboratorio per la identificazione e quantificazione dei contaminanti nei campioni è controllata

mediante metodi di *routine* quali, ad esempio le prove di recupero: quantità note di contaminanti sono aggiunti ai campioni e quindi è seguita la procedura di laboratorio. Un altro metodo per il controllo della qualità è quello dei cosiddetti "bianchi": il bianco è definito come un procedimento analitico completo con omissione del campione. Questi metodi consentono di capire se, durante le analisi, ci sono perdite di contaminanti o contaminazioni dei campioni.

Tabella 3 - Misure annuali minima-massima (min-max) e media (AM \pm SD) delle concentrazioni, in picogrammi per m³ d'aria, di 9 pesticidi di uso corrente nelle località urbane e rurali della Toscana.

AREE URBANE								
	Per. 1 (primavera-estate)		Per. 2 (autunno)		Per. 3 (inverno)		Per. 4 (primavera-estate)	
	min-max	AM \pm SD	min-max	AM \pm SD	min-max	AM \pm SD	min-max	AM \pm SD
insetticidi organofosforici								
CPF	3 - 580	167 \pm 236	4-390	115 \pm 150	6 - 50	22 \pm 18	66 - 430	156 \pm 155
CPF-m	2 - 380	104 \pm 160	1-4	12 \pm 13	4 - 70	20 \pm 24	20 - 570	140 \pm 240
MT	BDL - 280	70 \pm 120	BDL - 40	14 \pm 14	BDL - 30	13 \pm 11	10-60	30 \pm 20
TB	BDL	BDL	BDL - 30	7 \pm 12	BDL - 35	11 \pm 16	BDL - 40	8 \pm 17
DZ	BDL - 230	46 \pm 100	BDL - 230	38 \pm 92	BDL - 70	27 \pm 33	BDL - 80	20 \pm 34
erbicidi								
DT	BDL - 40	13 \pm 17	1-10	6 \pm 4	1-10	5 \pm 3	4 - 20	13 \pm 8
TF	BDL - 30	7 \pm 13	BDL - 5	3 \pm 2	0,6 - 7	4 \pm 2	0,5 - 4	2 \pm 1
PD	BDL - 80	17 \pm 37	BDL - 280	60 \pm 110	BDL - 90	14 \pm 35	BDL - 1500	--
fungicidi								
CT	BDL	BDL	BDL - 1	0,3 \pm 0,4	BDL	BDL	BDL - 40	14 \pm 19
AREE RURALI								
insetticidi organofosforici								
CPF	40 - 430	200 \pm 208	3 - 150	47 \pm 67	5 - 25	13 \pm 10	20 - 180	96 \pm 80
CPF-m	30 - 70	45 \pm 19	BDL - 50	13 \pm 24	1 - 60	20 \pm 30	BDL - 50	18 \pm 22
MT	BDL	BDL	BDL - 30	9 \pm 14	BDL - 280	93 \pm 160	BDL - 4	1 \pm 2
TB	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL - 60	28 \pm 32	BDL	BDL
DZ	BDL - 170	57 \pm 100	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
erbicidi								
DT	BDL - 20	9 \pm 9	BDL - 5	3 \pm 3	2 - 4	3 \pm 1	5 - 8	7 \pm 1
TF	BDL - 4	2 \pm 1,4	BDL - 6	3 \pm 3	0,2 - 0,6	0,4 \pm 0,2	0,3 - 3	1 \pm 1
PD	BDL - 70	25 \pm 42	BDL - 25	6 \pm 12	BDL	BDL	BDL - 50	13 \pm 26
fungicidi								
CT	BDL	BDL	BDL - 5	1 \pm 2	BDL	BDL	3-15	8 \pm 6

Abbreviazioni: Per. = period; AM = media aritmetica; SD = deviazione standard; BDL = inferiore al limite di rilevabilità strumentale, CPF = Clorpirifos, CPF-m = Clorpirifos metile, MT = Malatione, TB = Terbufos, DZ = Diazinone, DT = Dacthal, TF = Trifluralin, PD = Pendimetalin, and CT = Clorothalonil.

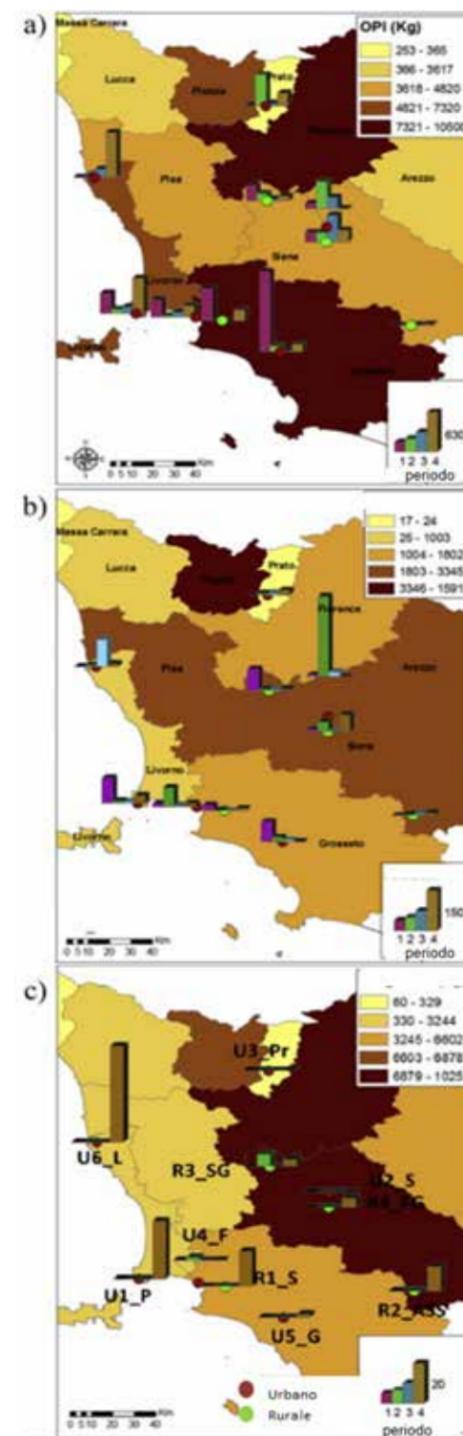


Fig. 4 – Concentrazione nell'aria (in picogrammi per m³) ed utilizzo (in kg) nell'anno 2009 di: (a) insetticidi organici fosforati (OPI); (b) erbicidi; (c) fungicidi organici (org. fung) nel 2009 (ISTAT, 2010). Gli OPI includevano il clorpirifos (CPF), il clorpirifos-metile (CPF-m), il malatione (MT), il terbufos (TB) e il diazinone (DZ). Gli erbicidi il dacthal (DT), il trifluralin (TF) e il pendimetalin (PD). Il fungicida organico era il chlorothalonil (CT).

MODELLO E ANALISI DELLE RETROTRAIETTORIE DELLE MASSE D'ARIA

Per determinare la provenienza delle masse d'aria potenzialmente contaminate nelle aree studiate sono stati adottati due modelli, quello delle retrotraiettorie di Lagrange (HYSPLIT; Draxler & Rolph, 2003) e quello meteorologico *Global Data Assimilation System* (GDAS). Grazie a questi modelli matematici è possibile stabilire da quale direzione prevalente le masse d'aria giungono in una determinata area; nel nostro caso, la direzione di provenienza è stata registrata ogni 6 ore durante tutto il tempo in cui si è campionata aria in ciascun sito. I risultati dei modelli sono poi stati riportati in un apposito sistema informativo geografico (ArcGIS).

Risultati

INSETTICIDI ORGANICI FOSFORATI

La figura 1 riporta le informazioni sull'uso dei pesticidi nelle province toscane durante il 2009 (ISTAT, 2010). Le province dove sono state impiegate le quantità maggiori di insetticidi organici fosforati sono quelle di Firenze (21%), Grosseto (18%), e Livorno (13%). Tra i 10 pesticidi rilevati (Tab. 3; Fig. 4), il clorpirifos e il clorpirifos-metile mostrano concentrazioni più elevate e il terbufos, il diazinon, il pendimethalin e il chlorothalonil più basse, con distribuzione irregolare nelle aree studiate; infine, il disulfoton è risultato presente solo in alcuni campioni.

Più in particolare: il clorpirifos è stato rilevato in tutti i siti e nei quattro periodi di campionamento; il clorpirifos-metile nel 90% dei siti e con concentrazioni abbastanza equivalenti sia nelle aree urbane che in quelle rurali (Fig. 5); mentre il malatione nel solo 56% dei siti e con concentrazioni maggiore in quelli urbani.

La presenza di questi contaminanti in zone urbane (Grosseto e Piombino per il clorpirifos, Livorno e Grosseto per il clorpirifos-metile, Grosseto per il malatione) può essere spiegata dal fatto che tali zone sono circondate da estese superfici agricole: situazione peraltro comune a quasi tut-

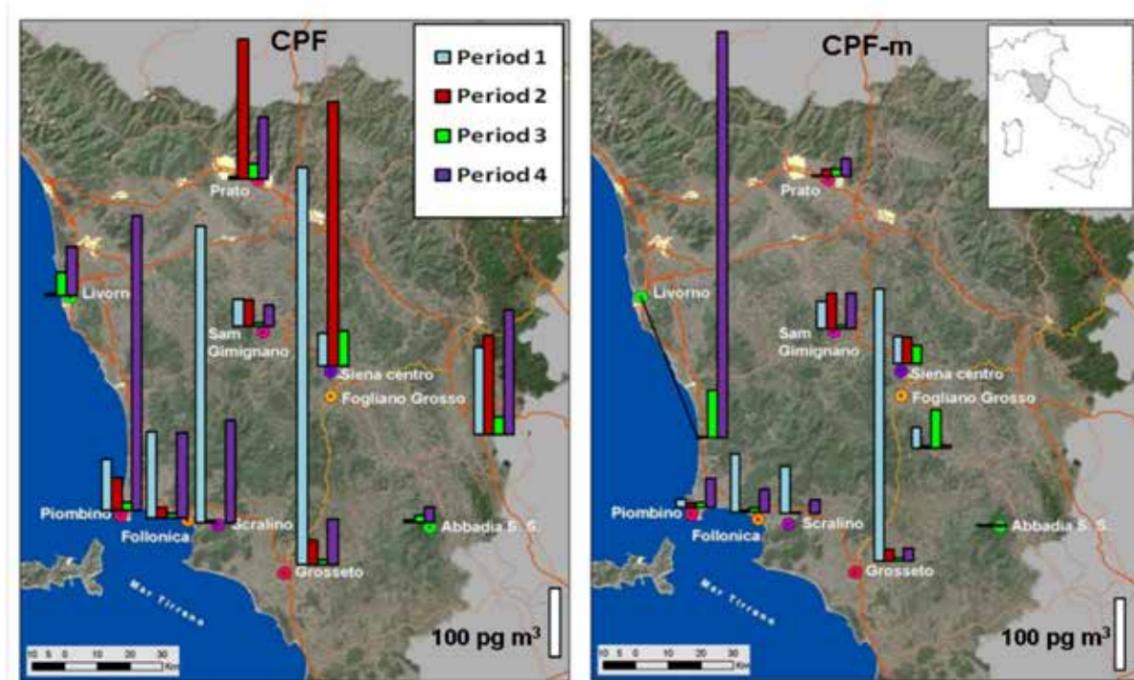


Fig. 5 – Concentrazioni nell'aria di clorpirifos (CPF) e clorpirifos-metile (CPF-m) (picogrammi/m³) rilevate nei quattro periodi di campionamento.

te le città toscane. Grosseto è circondata per il 73% da aree coltivate e la Maremma in generale è stata di recente nuovamente infestata da zanzare (Romi *et al.*, 2012). A Livorno potrebbe essere dovuta a uso agricolo o urbano non definito; non si può escludere che il malatione sia usato in città durante l'estate contro le zanzare e altri insetti infestanti le aree pubbliche. Questi dati sono anche in accordo con l'uso di insetticidi nelle province di Grosseto e Livorno (Fig. 1).

Questi livelli sono simili a quelli ottenuti in altri studi condotti mediante campionatori passivi con dischi di poliuretano, come per esempio nei campioni di aria delle zone di Košice nella Repubblica Ceca, a Malin Head in Irlanda e nell'area urbana di Parigi (Koblizkova *et al.*, 2012); erano simili anche ai livelli rilevati nel continente americano, come nell'area urbana di Toronto (Gouin *et al.*, 2008a), in aree rurali del Canada (Yao *et al.*, 2006) e nella valle centrale del Costa Rica (Gouin *et al.*, 2008b).

Il terbufos e il diazinone mostravano concentrazioni basse o inferiori al limite di rilevanza strumentale (Tab. 3). In particolare, il terbufos è

stato rilevato (a base concentrazioni) solo nelle aree urbane dall'autunno 2009 all'estate 2010 e in quelle rurali solo nel periodo estivo (a San Gimignano e Fogliano Grosso). Il diazinone è stato rilevato nel 25% ca. dei siti studiati, perciò si può ipotizzare un suo uso sporadico.

ERBICIDI

Il dachtal e il trifluralin erano presenti nel 90 e 97% dei campioni analizzati in concentrazioni contenute, in tutti i periodi di campionamento (Fig. 6). I livelli erano superiori nelle aree urbane rispetto alle rurali e coincidevano con la stagione estiva di crescita dei raccolti, suggerendo quindi un afflusso delle aree rurali circostanti. Il picco delle concentrazioni del trifluralin coincideva con quello rilevato anche per clorpirifos, clorpirifos metile, malatione e dachtal negli stessi siti di campionamento e si potrebbe quindi supporre che sia associato alla stessa sorgente (vedere sezione Variazioni stagionali). Le concentrazioni erano inferiori a quelle riportate in molti studi condotti in Europa (Koblizkova *et al.*, 2012;

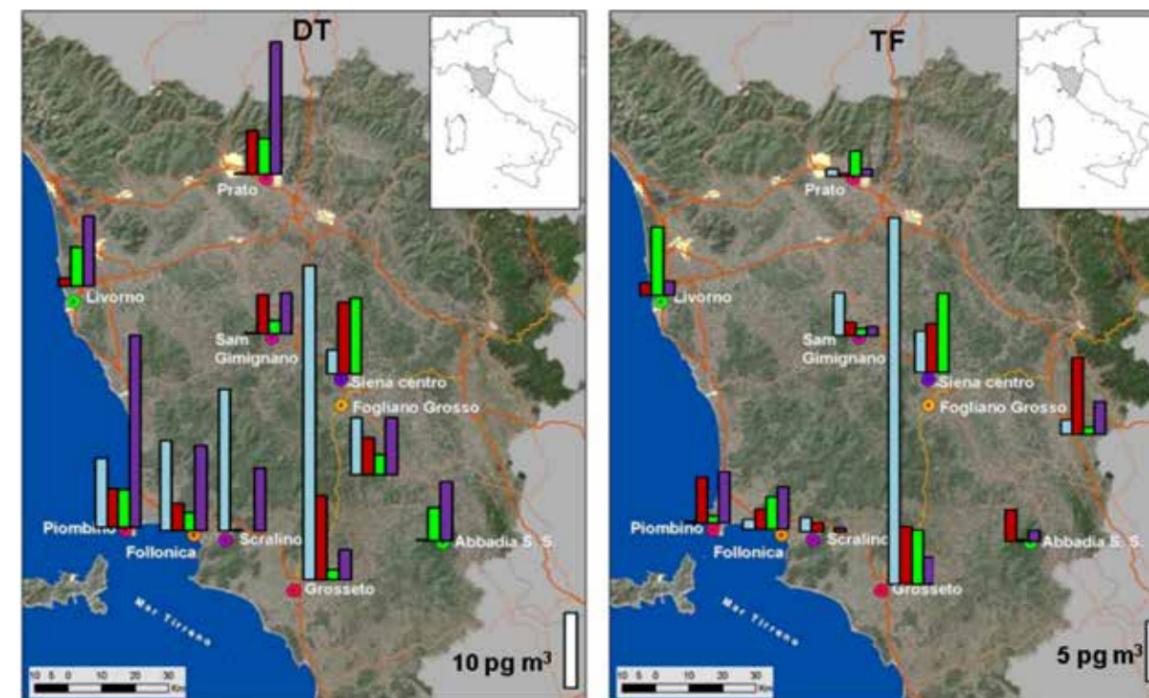


Fig. 6 – Concentrazioni nell'aria di dachtal (DT) e trifluralin (TF) (pg/m³) rilevate in siti toscani nei quattro periodi di campionamento.

Shunthirasingham *et al.*, 2010) e in Canada, in particolare a Toronto (Gouin *et al.*, 2008a), mentre valori simili erano stati rilevati in Ontario (Yao *et al.*, 2007).

Il pendimetalin è stato rilevato nel 25% dei siti studiati. Le concentrazioni più elevate sono state trovate nelle aree urbane, in particolare nelle zone di Siena e di Grosseto. Nelle zone rurali il pendimetalin è stato rilevato solo nelle aree di San Gimignano e di Fogliano Grosso nel semestre estivo. Tali concentrazioni erano simili a quelle riportate da Koblizkova *et al.* (2012) in Europa e da Gouin *et al.* (2008a) in Canada. La distribuzione irregolare del pendimetalin nei campioni di aria rende difficile individuarne le sorgenti e l'andamento dell'uso.

FUNGICIDI

In Toscana il clorotalonil è stato rilevato nel 25% dei campioni e solo in autunno, e primavera e estate (Tab. 3); le concentrazioni più elevate erano state rilevate nelle zone di Livorno e Piombino. La presenza del clorotalonil in queste zone costiere, influenzate dalle stesse masse d'aria,

lascia supporre una medesima sorgente (vedere sezione Variazioni stagionali). Nelle aree rurali le concentrazioni erano basse, così come nelle aree urbane, in cui il valore più elevato è stato rilevato nella zona di Siena. Tali livelli erano inferiori 2-60 volte rispetto a quelli riportati a Parigi e a Kose-tice, Repubblica Ceca (Koblizkova *et al.*, 2012) o in Florida, USA (Shunthirasingham *et al.*, 2010).

VARIAZIONI STAGIONALI

Allo scopo di individuare le sorgenti di contaminazione sono stati analizzati i movimenti delle masse d'aria. In generale, le differenze stagionali fra le concentrazioni sono risultate o inesistenti come nel caso del diazinone, del terbufos e del pendimetalin, oppure statisticamente non significative. La provenienza delle masse d'aria era sempre più o meno la stessa e sembrava da indicarsi in zone adiacenti o vicine ai siti di campionamento (Fig. 7), il che suggeriva una contaminazione su scala più locale che sovraregionale. Nelle aree rurali le concentrazioni più elevate di clorpirifos, dachtal e clorpirifos-metile erano tipiche del semestre estivo,

corrispondendo perciò alla stagione di maggiore attività agricola e di raccolta di numerosi prodotti. E il medesimo andamento si ripeteva puntualmente nelle aree urbane, portando quindi a concludere che le contaminazioni delle città siano causate da quelle delle superfici coltivate ad esse circostanti.

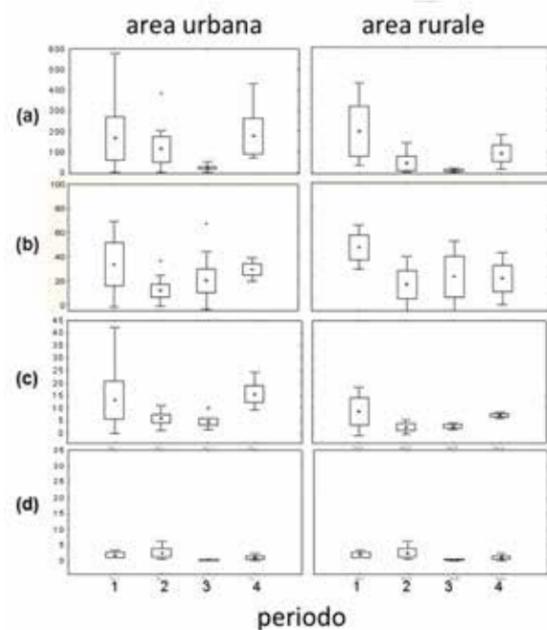


Fig. 7 – Box e whisker plot della concentrazione stagionale (picogrammi/m³) di clorpirifos (a), clorpirifos-metile (b), dachtal (c) e trifluralin (d).

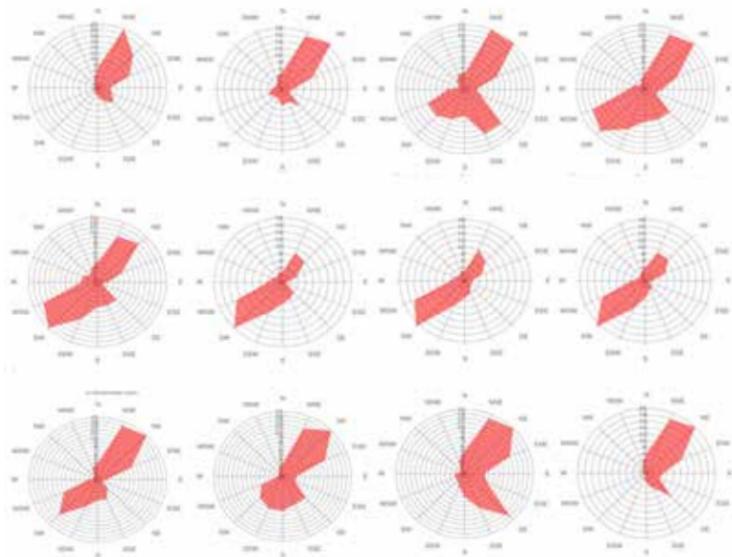


Fig. 8 – Direzione dei venti rilevata giornalmente, dalle ore 7 alle 19, dall'Aeroporto di Grosseto per l'intero periodo 2000-2013 (windfinder.com).

Tra le aree urbane, quella di Grosseto è risultata la più contaminata. Durante il semestre estivo le masse d'aria contenenti pesticidi vi spiravano, come illustrato dalla rosa dei venti (Fig. 8), da N-NE e da S-SW, cioè dall'entroterra. Per contro, le masse d'aria spiranti sulle aree urbane di Piombino, Follonica, Livorno e Siena provenivano principalmente dal mare, essendo quindi più pulite e perciò contribuendo a diluirne la contaminazione da uso di pesticidi. Va in ogni caso ricordato che lungo la costa toscana è possibile trovare non poche sorgenti di inquinamento quali aree agricole, coltivazioni a olivo e vite e centri abitati minori, per cui la sola analisi delle retrotraiettorie non è sufficiente a fornire un quadro oggettivo esauriente dello stato delle cose.

Conclusioni e prospettive

Abbiamo dimostrato che nell'aria di alcuni siti urbani e rurali della Toscana sono presenti concentrazioni dei pesticidi maggiormente usati, e che queste risultano essere abbastanza simili tanto nei siti urbani che in quelli rurali, divenendo un po' più accentuate nel periodo primaverile-estivo ovvero di maggiore attività agricola. I dati

depongono per sorgenti di contaminazione locali legate alla presenza di coltivazioni o ad altri usi non identificati. Secondo (, i pesticidi clorpirifos e clorpirifos-metile sarebbero prodotti non pericolosi e non rappresenterebbero un rischio per la salute dell'uomo e dell'ambiente; nel nostro Paese, d'altra parte, essi sono ampiamente e forse i più frequentemente usati (soprattutto negli agrumeti: Fallico *et al.*, 2009), per cui un loro costante e rigo-

roso controllo è da ritenersi indispensabile quanto meno da una prospettiva meramente prudenziale. È al contrario preoccupante constatare come la letteratura scientifica sulla presenza di pesticidi nell'atmosfera italiana continui a mantenersi molto scarsa. A nostra conoscenza, questo è il primo articolo nel quale la presenza di clorpirifos metile in Italia è stata misurata tramite campionatori passivi con dischi di poliuretano.

Gli autori desiderano ringraziare il Progetto Fondecyt 1130329, Mahiba Shoeib e Yuan Yao di Environment Canada per la loro assistenza nell'applicazione del metodo analitico. Il progetto è stato in parte finanziato dal National Sustainability Programme of the Czech Ministry of Education, Youth and Sports (LO1214) e da RECETOX Research Infrastructure (LM2011028).

*L'articolo costituisce un adattamento del testo originale di Estellano *et al.* (2015) da parte di S. Corsolini.*

Opere citate

Alcock R., Bashkin V., Bisson M., Brecher R.W., van Bree L., Chrast R., Colosio C., Desqueyroux H., Evstafjeva E., Feeley M. *et al.* (2003) - *Health Risks of Persistent Organic Pollutants from Long-range Transboundary Air Pollution*. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, pp. 1-252.

ATSDR-Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2008) - *Diazinon*. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp86-c1-b.pdf>.

Bindi M. (2008) - *Briefing notes on the CIRCE rural case studies: Tuscany*. CIRCE Clim. Change Impact Res. Mediterr. Environ. 1-7. <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/circe/Tuscany.html> (Last visited 19-11-2013).

Cope G., Leidy R. & Hodgson E. (2004) - *Classes of toxicants: use Classes*. In: Hodgson E. (ed.), *A Textbook of Modern Toxicology*. John Wiley & Sons, Inc., USA, pp. 1-582. Ch 5. 49-75.

Coscollà C., Colin P., Yahyaoui A., Petrique O., Yusa V., Mellouki A. & Pastor A. (2010) - *Occurrence of currently used pesticides in ambient air of Centre Region (France)*. Atmos. Environ. 44: 3915-3925.

Di Lonardo S. & Sciarra D. (2011) - *Pesticidi nel piatto*. Legambiente http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/pesticidi_nel_piatto_2011.pdf.

Draxler R.R. & Rolph G.D. (2003) - *HYSPLIT (Hybrid Singleparticle Lagrangian Integrated Trajectory) Model*. <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>. accessed in October 2013.

EC/AC-Environment Canada/Agriculture Canada (1993). *Pesticide registrant Survey, 1990 report*. In: Bortman, M., Brimblecombe, P., Cunningham M.A., Cunningham W.P.,

Freedman W. (Eds.) Commercial Chemicals Branch, Conservation and Protection. Environment Canada, Ottawa. Environmental Encyclopedia, 2003, third ed. Thomson Learning, Inc., USA, p. 713. Estellano V.H., Pozo K., Harner T., Corsolini S. & Focardi S. (2012) - *Using PUF disk passive samplers to simultaneously measure air concentrations of persistent organic pollutants (POPs) across the Tuscany region, Italy*. Atmos. Pollut. Res. 3: 88-94.

Estellano V.H., Pozo K., Efstathiou C. & Focardi S. (2015) - *Assessing levels and seasonal variations of current-use pesticides (CUPs) in the Tuscan atmosphere, Italy, using polyurethane foam disks (PUF) passive air samplers*. Environ. Pollut. 205: 52-59.

Fallico B., D'Urso M.G. & Chiappara E. (2009) - *Exposure to pesticides residues from consumption of Italian blood oranges*. Food additives Contam. Part A 26: 1024-1032.

Gervais J.A., Luukinen B., Buhl K. & Stone D. (2009) - *Malathion Technical Fact Sheet*. National Pesticide Information Centre. Oregon State University Extension Services. <http://npic.orst.edu/factsheets/malatech.pdf>. Last visited, October 21, 2013.

Giesy J.P., Solomon K.R., Mackay D. & Anderson J. (2014) - *Evaluation of evidence that the organophosphorus insecticide chlorpyrifos is a potential persistent organic pollutant (POP) or persistent, bioaccumulative, and toxic (PBT)*. Environmental Sciences Europe, Bridging Science and Regulation at the Regional and European Level, 26:29, DOI: 10.1186/s12302-014-0029-y.

Gouin T., Shoeib M. & Harner T. (2008a) - *Atmospheric concentration of current-use pesticides across south-central Ontario using monthly-resolved passive air samplers*. Atmos. Environ. 42: 8096-8104.

Gouin T., Wania F., Ruepert C. & Castillo L.E. (2008b) - *Field testing passive air samplers for current use pesticides in a tropical*

environment. Environ. Sci. Technol. 42: 6625-6630.

Hogarh J.N., Seike N., Kobana Y., Habib A., Nam J.-J., Lee J.-S. Li Q., Liu X., Li J., Zhang G. & Masunaga S. (2012) - *Passive air monitoring of PCBs and PCNs across East Asia: a comprehensive congener evaluation for source characterization*. *Chemosphere* 86: 718-772.

ISTAT (2010) - *The Distribution of Phytosanitary Products in the Agriculture: Year 2009*. http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20101019_00/testointegrale20101019.pdf.

Koblizkova M., Chi L.S. & Harner T. (2012) - *Sorbent impregnated polyurethane foam disk passive air samplers for investigating current-use pesticides at the global scale*. *Atmos. Pollut. Res.* 3: 456-462.

Mackay D., Shiu W.Y., Ma K.-C. & Lee S.C. (2006) - *Handbook of Physical-chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals*, second ed. Taylor & Francis Group, LLC., USA, pp. 1-4182.

Mackay D., Giesy J.P. & Solomon K.R. (2014) - *Fate in the environment and long-range atmospheric transport of the organophosphorus insecticide, chlorpyrifos and its oxon*. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 231: 35-76.

Muir D.C.G., Teixeira C. & Wania F. (2004) - *Empirical and modelling evidence of regional atmospheric transport of current-use pesticides*. *Environ. Toxicol. Chem.* 23: 2421-2432.

Munoz A., Vera T., Sidebottom H., Mellouski A., Borras E., Rodenas M., Clemente E. & Vazquez M. (2011) - *Studies on the atmospheric degradation of Chlorpyrifos-methyl*. *Environ. Sci. Technol.* 45: 1880-1886.

Pozo K., Harner T., Shoeb M., Urrutia R., Barra R., Parra O. & Focardi S. (2004) - *Passive sampler derived air concentrations of persistent organic pollutants on a north-south transect in Chile*. *Environ. Sci. Technol.* 38: 6529-6537.

Pozo K., Harner T., Chi L., Wania F., Muir D. & Jones K.C. (2009) - *Seasonally resolved concentrations of persistent organic pollutants in the global atmosphere from the first year of the GAPS study*. *Environ. Sci. Technol.* 43: 796-803.

Rice C.P., Nochetto C.B. & Zara P. (2002) - *Volatilization of trifluralin, atrazine, metolachlor, chlorpyrifos, a -endosulfan, and b -endosulfan from freshly tilled soil*. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4009-4017.

Romi R., Boccolini D., Vallorani R., Severini F., Toma L., Cocchi M., Taburro A., Messeri G., Crisci A., Angeli L., et al. (2012) - *Assessment of the risk of malaria reintroduction in the Maremma plain (Central Italy) using a multi-factorial approach*. *Malar. J.*, 1-15.

Ruggirello R.M., Hermanson M.H., Isaksson E., Teixeira C., Forsstrom S., Muir D.C.G., Pohjola V., van de Wal R. & Meijer H.A.J. (2010) - *Current use and legacy pesticides deposition to ice caps on Svalbard, Norway*. *J. Geophys. Res.* 115: 1-11.

Shunthirasingham C., Oyiliagu C.E., Cao X., Gouin T., Wania F., Lee S.-C., Pozo K., Harner T. & Muir D.C.G. (2010) - *Spatial and temporal pattern of pesticides in the global atmosphere*. *J. Environ. Monit.* 12: 1650-1657.

Teatro Naturale (2013) - *Le colpe degli olivicoltori nella crisi del settore oleario italiano*. <http://www.teatronaturale.it/strettamente-tecnico/1-arca-olearia/18193-le-colpe-degli-olivicoltori-nella-crisi-del-settore-oleario-italiano.htm>. Last visited November, 2016.

UNECE (2007) - *Dossier Prepared in Support of Proposal of Trifluralin to Be Considered as a Candidate for Inclusion in Annex I to the Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution on Persistent Organic Pollutants*. http://www.unece.org/env/lrtap/TaskForce/popsxg/2008/Trifluralin_RA%20dossier_proposal%20for%20submission%20to%20the%20UNECE%20POP%20Protocol.pdf.

US-EPA (2011) - *Chlorpyrifos-methyl Facts*. http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDS/factsheets/cpm_fs.htm.

Yao Y., Tuduri L., Harner T., Blanchard P., Waite D., Poissant L., Murphy C., Belzer W., Aulagnier F., Li Y.-F. & Sverko E. (2006) - *Spatial and temporal distribution of pesticide air concentrations in Canadian agricultural regions*. *Atmos. Environ.* 40: 4339-4351.

Yao Y., Harner T., Ma J., Tuduri L. & Blanchard P. (2007) - *Sources and occurrence of dachtal in the Canadian atmosphere*. *Environ. Sci. Technol.* 41: 688-694.

Yao Y., Harner T., Blanchard P., Tuduri L., Waite D., Poissant L., Murphy C., Belzer W., Aulagnier F., Li Y.-F. & Sverko E. (2008) - *Pesticides in the atmosphere across Canadian agricultural region*. *Environ. Sci. Technol.* 42: 5931-5937.

La valle dei mulini scomparsi: una ricerca sulla civiltà contadina nella valle della Tressa, a poca distanza dalle mura di Siena

Laura Perrini, Attilio Galiberti

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali
lauraperrini@libero.it / attiliogaliberti@gmail.com

Si racconta che la bellezza dei luoghi lungo le rive del Torrente Tressa abbia dato origine a Siena. Infatti, secondo la leggenda i figli di Remo, Aschio e Senio, per sfuggire allo zio Romolo lasciarono Roma e cavalcarono fino ad una valle incantevole, attraversata da un torrente, dove si fermarono a bere e a riposarsi. Senio rimase così affascinato dallo splendore di quei boschi e di quei prati che decise di stabilirvisi per sempre; scelse dunque il colle più alto e vi costruì un castello.

Fu così che nacque Castelsenio, intorno al quale si sviluppò poi la città, mentre in basso il torrente Tressa continuò a scorrere fino ai nostri giorni allorché le sue acque furono considerate meno utili e, per motivi di sicurezza, in parte incanalate all'interno di un percorso in cemento.

Nelle mappe del Catasto leopoldino, redatte all'inizio dell'Ottocento, la valle del Tressa risulta scarsamente popolata, con case coloniche sporadicamente distribuite nella campagna e il torrente affiancato da un sistema di gore e canali artificiali i quali, scorrendo paralleli al corso d'acqua, alimentavano numerosi mulini (Fig. 1).

Sono state proprio queste strutture a suscitare il nostro interesse, portandoci a intraprendere una ricerca sul campo che ci potesse permettere di effettuare un confronto tra i documenti catastali antichi e le emergenze archeologiche presenti sul territorio (Fig. 2).

Studiando le mappe antiche ci siamo resi conto che i ponti per attraversare il Tressa erano pochissimi e che probabilmente c'erano alcuni tratti del torrente in cui le sponde basse rendevano possi-



Fig. 1 – La valle del Torrente Tressa e la parte terminale del Fosso della Pescaia con i vari gorrelli (Catasto leopoldino, inizi 800)



Fig. 2 – La valle del Tressa, con ancora visibili il “Mulino dell’Occhio” (n.1), il Mulino di S. Maria a Tressa (n. 2), il Mulino di San Carlo (n. 3), la diga antica (n. 4), “Il Molino” (n. 5), “Il Molino” (n. 6), il “Mulino di San Cristoforo” con il gorello di uscita (n. 7).

bile il guado con i carri. Un ponte di cui abbiamo notizie sicure è quello che collegava la strada Grossetana, proveniente da Porta San Marco, con la via che portava a “Monte Albuccio”. La zona del ponte, riportata nel Catasto antico con il nome di “San Carlo”, è occupata oggi dai capannoni e dai negozi costruiti tra la via Massetana e la tangenziale. In molti punti quest’ultima passa sopra il corso del Tressa, con i piloni in cemento che la sostengono affondati proprio dentro l’acqua.

È quasi impossibile accedere alle rive del torrente in quanto da una parte c’è un’alta rete che delimita una striscia di campi attraversata dai pali del metanodotto, dall’altra il muro continuo degli edifici commerciali; si può tuttavia raggiungere il Tressa tramite un varco nascosto dalla vegetazione lungo la scarpata della riva sinistra. In alcuni punti le sponde hanno l’aspetto di una discarica abbandonata dove sono stati ammassati pezzi di ferro e mattoni; inoltre la forza della corren-

te ha talora incastrato contro i piloni della strada pezzi di motore, ruote di biciclette e altri detriti.

Lungo questo tratto del torrente dall’aspetto così desolante sono riconoscibili i resti di un’antica diga (indicata seppure debolmente nel Catasto leopoldino), costituita da un potente muro rivestito di mattoni, in forma di vasca aperta a monte, che aveva la funzione principale di raccogliere l’acqua in una specie di gora, che poteva essere utilizzata per la macerazione della canapa, lavorazione un tempo molto diffusa nella zona; nonché per altri usi, che attualmente ci sfuggono (Fig. 3). Le caratteristiche strutturali (la perfezione della muratura e il forte spessore) fanno pensare a un manufatto importante, quasi certamente antico, anche se al momento non siamo in grado di stabilirne la reale antichità. A questo riguardo potrebbe essere interessante un saggio di scavo nel deposito terroso presente all’interno della gora, alla ricerca di materiali utili alla datazione. Affiancato alla diga è conservato ancora un grande scivolo pavimentato con lastre di pietra, anch’esso di ottima fattura, con pietre piatte di calcare infisse verticalmente nella sua parte superiore, che trova confronto con manufatti simili nell’area di Asciano; con ogni probabilità aveva la funzione di convogliare l’acqua in un “guazzatoio” utilizzato per abbeverare gli animali prima che il torrente continuasse il suo corso attraverso la valle (Fig. 4). Dai disegni del Catasto leopoldino si può vedere che in questo punto il torrente era stato modificato e reso più largo, probabilmente per permettere altre attività, come il lavaggio dei panni da parte delle donne o di quella “folla di streghe che facevano la bucata giù nella Tressa” di cui parla Federigo Tozzi nel suo romanzo *Il podere*. A brevissima distanza da questi ruderi antichi, in riva idrografica destra, si intravedono, nascosti da un piccolo bosco di canne di bambù, i resti di una costruzione in mattoni, corrispondente sicuramente ad una spalla del ponte presente nella mappa ottocentesca. Non si conosce attualmente la data del suo abbattimento, in seguito alla costruzione di un secondo ponte attivo fino alla prima metà degli anni 70 del secolo scorso, di cui resta una



Fig. 3 – Parte frontale della diga antica sul Tressa.



Fig. 4 – La diga antica con l’annesso scivolo lastricato.



Fig. 5 – Il Mulino di San Carlo sul Fosso della Pescaia.



Fig. 6 – Il mulino con la gora di S. Maria a Tressa sul Fosso della Pescaia.

spalla, anch’esso sostituito dall’attuale struttura in occasione della costruzione della tangenziale.

Nella zona di San Carlo, così indicata nel Catasto leopoldino, sono visibili in riva idrografica sinistra del Tressa, due mulini: quello di Santa Maria a Tressa e quello di San Carlo con il gorello artificiale parallelo alla strada – oggi a fondo chiuso – che raccordava la via proveniente da Porta San Marco con quella di Pescaia. Quest’ultimo opificio di epoca medievale, appartenuto all’Opera Metropolitana del Duomo (sulla facciata è ancora presente lo scudo bianco e nero dell’O-PA), è oggi privo dell’apparato idraulico e rimane solo una macina nella parte antistante (Fig. 5). Al contrario, il Mulino di Santa Maria a Tressa conserva ancora la gora in mattoni per raccogliere l’acqua, accanto alla struttura usata come macinatoio, che però non mostra più le caratteristiche murature antiche, essendo stata intonacata (Fig. 6). Entrambi i mulini, come del resto anche il “Mulino dell’Occhio” ubicato più a monte e in

riva idrografica destra (Fig. 7), utilizzavano l’acqua del Fosso della Pescaia (affluente del Tressa), un tempo non lontano certamente molto pescosa, come indica il toponimo, e attualmente rinchiusa dentro un canale di cemento che passa sotto la strada diventata in epoca recente a quattro corsie.

Sul Torrente Tressa, nel tratto che sta a valle dell’antico ponte che portava a Montalbuccio, sono visibili tre mulini tutti conservanti l’edificio del macinatoio. Quello più completo è “Il Molino”, una struttura su tre livelli che seppure trasformata in abitazione conserva intatta su un lato la potente gora per la raccolta dell’acqua, con la finestra d’uscita tamponata e sull’altro l’apertura del gorello di uscita (Fig. 8). Sono state salvate anche le due macine in pietra che venivano azionate dal ritrecine in legno posto sotto la stanza-macinatoio. La gora era alimentata da un lungo gorello, tuttora in buona parte visibile, che certamente doveva partire dalla diga individuata nei pressi dell’antico ponte sul Tressa, come ci indica il Catasto leopol-



Fig. 7 – Il "Mulino dell'Occhio" sul Fosso della Pescaia.



Fig. 8 – "Il Molino" sul Tressa con la sua potente gora.



Fig. 9 – "Il Molino" sul Tressa.



Fig. 10 – Il "Molino di San Cristoforo" sul Tressa.

dino. Più a valle, nell'area commerciale di Cerchiaia, sono visibili altri due mulini: "Il Molino" (Fig. 9) e il "Molino di San Cristoforo" (Fig. 10); questi conservano solo le strutture murarie e l'originaria posizione più bassa rispetto al letto del torrente nel punto di uscita del gorello di alimentazione. Presso il Molino di San Cristoforo è visibile ancora il gorello di uscita che si getta nel Tressa.

Quella che un tempo era una valle dove in estate i campi di grano sembravano bruciare sotto i raggi del sole e dove il Tressa, accompagnato da una fila di "pioppi magri e storti", quando esondava allagava diversi poderi, è stata oggi per buo-

na parte inghiottita dal cemento. Ci rimangono soltanto le descrizioni fatte da Tozzi nelle sue opere, come quando nel romanzo *Adele* scriveva: "e la pioggia vela lievemente tutta la campagna deserta. Soltanto per la strada di Pescaia, che discende dividendo in due parti, una alta e una bassa, tutto il paesaggio, passa qualcuno. I contadini, seduti presso la porta della stalla calda, si tagliano gli zoccoli o fabbricano quelle scale rozze e ritorte che serviranno a cogliere la frutta".

Purtroppo o per fortuna la tangenziale, come un soffitto lunghissimo, suggella e protegge le rovine di un mondo agricolo ormai scomparso.

Opere citate

Catasto storico (leopoldino) (1800) - *Mappa di Siena - zona di Pescaia*, (Archivio di Stato di Siena)

AA.VV. (2015) - *Vie d'Acqua Vie di Terra, Il percorso dei mu-*

lini di Asciano, a cura dell'Amministrazione Comunale di Asciano.

Tozzi F. (1921) - *Il podere*, Ed. Treves, Milano.

Tozzi F. - *Adele. Frammenti di un romanzo*, in "Opere" vol. IV a cura di Glauco Tozzi, Ed. Vallecchi, Firenze 1979.

I fossi della Val di Merse: un hot spot per le felci nella Toscana meridionale

Marco Landi*, Luca Paoli**, Elisa Baragatti**, Carlo Saveri*, Claudia Angiolini**

* Ufficio Territoriale Carabinieri per la Biodiversità di Siena, Via Cassia Nord, 7 - 53100 Siena.

** Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, Via P.A. Mattioli, 4 - 53100 Siena.

Introduzione

Basta camminare lungo i corsi d'acqua della Val di Merse per rendersi conto che le condizioni ecologiche favorevoli alle pteridofite sono abbastanza generalizzabili. Due sono i principali fattori a cui queste condizioni sono legate: l'uniformità e la natura del substrato geologico e la presenza di un'estesa foresta riparia all'interno di aree protette (Siti d'Importanza Comunitaria, Riserva Naturale Alto Merse e Riserva Biogenetica di Tocchi). Il substrato geologico è quasi ovunque costituito dalle anageniti del Verrucano, rocce del Triassico inferiore (circa 250 milioni di anni fa) rappresentate da quarziti giallo-viola alternate a un conglomerato fluvio-lacustre con ciottoli di quarzo rosa a grana molto fine. Oltre che in Val di Merse, queste rocce si ritrovano sulle Alpi Apuane, sul Monte Pisano (in particolare sul Monte Verruca, da cui il nome della formazione) e sul Monte Leoni, dove spesso formano i versanti più ripidi o i letti dei torrenti e dei fossi. Anche in queste località la relazione Verrucano - sviluppo di felci è del tutto evidente. Al momento non ne conosciamo bene i motivi, però sappiamo con certezza che la formazione dà origine ad un suolo acido o subacido e che questo è vantaggioso per la maggioranza della flora pteridologica. Quanto al secondo fattore si evidenzia che, laddove si ha sviluppo delle pratiche agricole o si accentua l'urbanizzazione, i corsi d'acqua e le paludi sono colonizzati da specie igrofile più competitive (canneti) e spesso esotiche (tipo *Ailanthus altissima*, *Amorpha fruticosa*, *Arundo donax*, *Buddleja da-*

vidii, *Phyllostachys* sp. pl. e *Phytolacca americana*). Esse portano all'inevitabile riduzione dell'habitat per le specie autoctone, com'è stato rilevato da Landi e Angiolini (2007) in diverse località della Toscana settentrionale, dell'Isola d'Elba, dell'Isola del Giglio e del Monte Argentario.

Se una gestione mirata alla salvaguardia e alla conservazione, accompagnata forse da una buona sorte e da una bassa antropizzazione, è riuscita a salvare le zone umide della Val di Merse dall'invasione di piante aliene, non ha purtroppo potuto incidere sul processo di inaridimento degli ambienti di risorgiva che è in atto per problematiche climatiche globali. Uno degli indicatori più evidenti di tale processo è il comportamento della Felce aquilina (*Pteridium aquilinum*). Diffusa un tempo unicamente nei castagneti e nelle pinete, negli ultimi anni essa è andata a colonizzare anche lo strato erbaceo delle ontanete delle zone di risorgiva e dei corsi d'acqua, sostituendosi alle pteridofite tipiche e più rare di questi ambienti umidi.

Gran parte dei dati presentati in questo articolo si riferisce all'area della Valle del Merse indicata nella figura 1.

La comunità vegetale

La comunità vegetale in cui vivono le felci è caratterizzata, nel piano arboreo, dalla netta dominanza (70-95%) dell'Ontano (*Alnus glutinosa*) con presenza diffusa dell'Orniello (*Fraxinus ornus*). Presenze discontinue sono invece quelle del Carpino



Fig. 1 – Mappa dell'area investigata in Val di Merse.

bianco (*Carpinus betulus*), del Castagno (*Castanea sativa*), del Pioppo tremulo (*Populus tremula*) e della Rovere (*Quercus petraea*). Lo strato arbustivo è quasi sempre abbastanza rado e costituito dall'Agrofoglio (*Ilex aquifolium*), dal Rovo (*Rubus hirtus*) e, nei tratti più fertili di fondo valle, dal Nocciolo (*Corylus avellana*). Nelle esposizioni più meridionali è possibile trovare anche il Leccio (*Quercus ilex*) e il Corbezzolo (*Arbutus unedo*). Più rari sono la Frangola (*Frangula alnus*), che preferisce suoli ombrosi e umidi, e il Faggio (*Fagus sylvatica*), che predilige le zone di forra o ad esposizione più settentrionale.

In questi habitat la vegetazione riparia è attribuita, dal punto di vista fitosociologico, all'*Osmundo-Alnion* e, in minor parte, all'*Alnion incanae* (*Populetalia albae, Quercus-Fagetea*). Un'analisi fitosociologica dettagliata di Landi & Angiolini (2010a) ha altresì individuato nell'associazione *Carici pallescens-Alnetum glutinosae* la vegetazione più caratteristica e ricca di pteridofite delle risorgive di tipo palustre e dei fossi. A parte le felci, le specie erbacee più peculiari della suddetta

associazione sono *Carex pallescens* e *Hypericum androsaemum*. Queste comunità vegetali fanno parte di un habitat prioritario per la Direttiva habitat (Direttiva n. 92/43 CEE) che è identificato con Codice NATURA 2000: 91E0; Codice CORINE biotopes: 44.3.

Le felci

In questo studio sono state riconosciute 9 specie di felci (*Blechnum spicant*, *Dryopteris affinis* subsp. *affinis*, *D. affinis* subsp. *borreri*, *Dryopteris carthusiana*, *Dryopteris dilatata*, *Osmunda regalis*, *Polypodium cambricum*, *Phyllitis scolopendrium* subsp. *scolopendrium* e *Thelypteris palustris*) che, dal punto di vista pteridologico, rendono gli ambienti palustri della Val di Merse un vero hot spot della Toscana. In realtà, altre pteridofite contribuiscono alla ricchezza pteridologica di questa valle (per esempio *Asplenium onopteris*, *A. trichomanes*, *Athyrium filix-femina*, *Equisetum telmateia*, *Polypodium interjectum* e *Polystichum setiferum*), ma per il loro ampio significato ecologico e perché ben più diffuse anche in senso geografico, abbiamo deciso di non includerle nella discussione. Sebbene possano trovarsi anche altrove in Toscana, i 9 taxa individuati sono difficilmente osservabili tutti insieme in una medesima valle in quanto è raro trovare caratteristiche di substrato, copertura forestale e gestione così favorevoli su vaste zone. Ciò nonostante, alcune peculiarità ecologiche tendono a differenziare la loro distribuzione, per cui ogni taxon risulta maggiormente legato a determinate condizioni di esposizione o di habitat (fossi, torrenti e risorgive).

Nelle felci considerate lo stesso individuo può presentare foglie o "fronde" (questo è il termine più usato) uguali (come in gran parte delle specie italiane, in cui le spore si formano nella pagina inferiore), oppure di tipo dimorfico (con fronde differenziate in forma e in dimensione, nonché in fertili, cioè recanti spore, e sterili, cioè prive di spore e utili solo per la fotosintesi). Esse, inoltre, possono avere fronde con lamina intera oppure divisa; in quest'ultimo caso i segmenti ottenuti dalla prima suddivisione si chiamano pinne e quelli ottenuti dalle altre suddivisioni pinnule.

Di seguito presentiamo i suddetti taxa, in ordine alfabetico, con la descrizione sia dei caratteri morfologici delle fronde che delle peculiarità ecologiche. Per la nomenclatura ci si è attenuti alla *Checklist of the Italian Vascular Flora* (Conti et al., 2005).

Blechnum spicant (L.) Roth

È una specie con fronde coriacee e lucide messe a corona (rosetta) e di tipo dimorfico. Le fronde sterili, all'esterno della rosetta, sono persistenti e più brevi di quelle fertili; queste ultime, posizionate all'interno e non persistenti, sono generalmente portate erette (raggiungono anche 90 cm di lunghezza), hanno pinne più spaziate e nella pagina inferiore mostrano sori (le strutture che accolgono le spore) disposti linearmente su due file ai lati dell'asse pinnulare (Fig. 2).

È una delle pteridofite più frequenti negli ambienti umidi della valle, su substrato sia roccioso che torboso, dove non sembra prediligere alcuna particolare esposizione; in vicinanza dei corsi d'acqua può essere osservata addirittura nelle scarpate e nei muretti a secco. La sua presenza in Toscana meridionale risulta essere concentrata soprattutto in Val di Merse e in Val di Farma.

Dryopteris affinis (Lowe) Fraser-Jenk. subsp. *affinis*

Recenti revisioni sistematiche hanno elevato al rango di specie quelle che fino a poco tempo fa

erano considerate come semplici sottospecie (*affinis*, *borreri* e *cambrensis*) di *Dryopteris affinis*. Anche ammettendo la correttezza di queste revisioni – da noi per il momento non seguite – sta di fatto che le differenze fra i tre taxa sopra menzionati non sono individuabili grazie a poche ed evidenti caratteristiche, ma possono essere apprezzate unicamente sulla base di un'adeguata conoscenza del loro campo di variabilità morfologica ed avendo a disposizione fronde complete dello stipite (il picciolo), del rachide (il prolungamento del picciolo che forma l'asse centrale della fronda), dei sori e delle palee (squame sottili che avvolgono stipite, rachide e fusto, con quest'ultimo spesso in forma di rizoma strisciante). È infatti possibile trovare individui con aspetto intermedio che solo fino ad alcuni decenni fa potevano essere confuse addirittura con *Dryopteris filix-mas*, specie presente solo a quote più elevate. Comunque sia, per togliere ogni ragionevole dubbio, il complesso *affinis-borreri-cambrensis* è caratterizzato da palee scure ed assai abbondanti distribuite dallo stipite a tutto il rachide e l'inserzione della pinna sul rachide presenta una macchia scura. In *D. filix-mas*, comunemente conosciuta come Felce maschio, le palee sono poche e chiare, distribuite solo sul piede dello stipite e l'inserzione della pinna sul rachide è di colore verde. Un'ulteriore differenza è di tipo fenologico (la fenologia è lo studio dei rapporti tra i fenomeni della vita animale e vegetale e i mutamenti climatici stagionali) giacché, diver-



Fig. 2 – *Blechnum spicant*.



Fig. 3 - *Dryopteris affinis*.

samente da *D. filix-mas*, le fronde del gruppo di *D. affinis* sono persistenti durante l'inverno. Tuttavia, tali informazioni fenologiche sono quasi sempre ricavate da descrizioni generiche riportate nei testi di determinazione e difficilmente risultano accompagnate da indagini ecologiche approfondite. Tra le poche ricerche esistenti sulla fenologia e l'attività fotosintetica di questi felci rientrano quelle eseguite in una delle più estese popolazioni di *D. affinis* s.s. della Val di Merse (nel fosso Faule nei pressi dell'abitato di Tocchi) (Paoli & Landi, 2013; Landi *et al.*, 2014).

Chiarite le differenze con *D. filix-mas*, entriamo all'interno del complesso *affinis-borveri-cambrensis*. Il taxon *affinis* (Fig. 3) si distingue dagli altri due per la lamina più spessa e non increspata, nonché per le pinnule dai margini quasi interi e paralleli, superiormente falcate e con bordi dentati. L'indusio (una sottile membrana che protegge i sorì) è spesso rigonfio. È una delle felci più rare della Val di Merse e infatti è presente con popolazioni di pochi individui (raramente gli adulti sono più di una decina) principalmente localizzate tra le rocce delle sponde dei tratti iniziali dei fossi con acqua permanente e nelle risorgive. Qualche individuo rilevato in questa valle è stato sospettato appartenere a *D. affinis* subsp. *cambrensis*, tuttavia, alcune caratteristiche morfologiche delle fronde sembrano intermedie con *D. affinis* subsp. *affinis* e lasciano ancora qualche dubbio sulla reale presenza di questa specie.

Dryopteris affinis (Lowe) Fraser-Jenk. subsp. *borveri*

Si riconosce per la lamina meno spessa ma increspata, per le pinne del paio basale che sono generalmente grandi e con la parte basioscopica (le pinne basali sono asimmetriche e la parte interna si chiama basioscopica) più sviluppata, per le pinnule che sono di forma irregolare e tra loro dissimili, con apice bruscamente falcato e con denti disuguali. L'indusio è sottile o poco rigonfio. In Val di Merse è rara quanto *D. affinis* subsp. *affinis* ed è presente con popolazioni di pochi individui (gli adulti sono raramente più di una decina) principalmente localizzate nelle sponde dei tratti medio-terminali dei fossi e dei torrenti.



Fig. 4 – *Dryopteris* gr. *carthusiana* (foto di Gianmaria Bonari)

Dryopteris carthusiana (Vill.) H. P. Fuchs

Il gruppo di *D. carthusiana*, che nell'area oggetto di questo studio è presente con *D. carthusiana* e *D. dilatata*, si riconosce per avere fronde 3-4 pennato-sette, in quanto con pinnule divise o quasi completamente divise (Fig. 4). Le due specie sopra menzionate hanno aspetto molto simile e sono le pteridofite più rare della Val di Merse. Come carattere principale per distinguerle viene utilizzata la forma e il colore delle palee localizzate principalmente nello stipite. In particolare, *D. carthusiana* presenta palee in numero limitato e molto chiare. In Val di Merse sono stati rinvenuti alcuni individui (Landi, 2006) lungo il Fosso Lamabuia (Riserva Biogenetica di Tocchi) all'interno della vegetazione riparia ad *Alnus glutinosa*. Occasionalmente, individui isolati o piccoli gruppi sono stati osservati in altri fossi.

Dryopteris dilatata (Hoffm.) A. Gray

Si distingue dalla precedente per le abbondanti palee bruno-scure e con macchia centrale ben marcata. In Val di Merse è stato osservato da Landi *et al.* (2009) un gruppo di individui nella parte superiore del fosso Cermogio (affluente del fosso La Bolza in Val di Merse, tra gli abitati di Tocchi e Monticiano), all'interno della vegetazione riparia ad *Alnus glutinosa*. Occasionalmente, individui isolati o piccoli gruppi sono stati osservati in altri fossi.

Osmunda regalis L.

È la felce più facile da riconoscere, grazie alle sue fronde dimorfiche e alle sue dimensioni (Fig. 5). In Val di Merse, se consideriamo il vistoso cespo di rizomi basali che non di rado supera i 50 cm di altezza e le fronde che sono lunghe fino a 2,5 m, può raggiungere anche i 3 m di altezza. Le fronde fertili sono centrali, più lunghe di quelle sterili e terminanti con una pannocchia ricca di sporangi. Le fronde sterili sono bipennate e con pinnule a margine intero, lunghe fino a 9 cm. Le fronde iniziano a crescere ad aprile-maggio e si seccano in ottobre-novembre. Ciò comporta che nel periodo invernale sono osservabili solo i cespi di rizomi, spesso ricoperti di briofite, che emergono dal terreno. Dagli studi che hanno interessato questa specie in Toscana (es. Landi & Angiolini, 2008, 2011) sembra che la popolazione presente nel Fosso Cermogio (affluente del Fosso La Bolza in Val di Merse) sia attualmente la più numerosa ed estesa della Toscana meridionale. In Val di Merse, nella parte superiore dei fossi e nelle risorgive, più frequentemente con esposizioni Nord-Est, è piuttosto frequente e forma popolazioni abbastanza numerose. Il substrato paludoso e la maggiore luminosità nelle risorgive sembrano favorire le popolazioni di *Osmunda regalis* (Landi & Angiolini, 2010b, 2011); le fronde fertili sono frequentemente pascolate da daini e caprioli. A parte la Val di Merse, Monte Leoni e l'I-



Fig. 5 – *Osmunda regalis*.

sola d'Elba, è considerata una felce rara in Toscana meridionale (Landi & Angiolini, 2007, 2008).

Polypodium cambricum L.

Sinonimo: *Polypodium australe* Fée. Si distingue dal più comune *P. interjectum* per le fronde più lunghe (fino a 70 cm), con lamina di forma triangolare e pinne generalmente seghettato-lobate, con quelle apicali bruscamente decrescenti (Fig. 6). I sorì sono spesso con parafisi. È una felce epifita che vive sulle cortecce degli alberi, sulle ceppaie, sui muri e sulle rocce dove si accumula sostanza organica. Rispetto a *P. interjectum* e *P. vulgare* è più termofila. Nei fossi della Val di Merse è sporadica ed è presente con individui isolati che sembrano preferire le esposizioni più meridionali o comunque le stazioni meno ombrose e più calde.

Phyllitis scolopendrium (L.) Newman subsp. *scolopendrium*

Più comunemente conosciuta con il nome di Lingua cervina, presenta fronde lunghe fino a 100 cm e con lamina intera, da lineare a lanceolata e spesso lucida (Fig. 7). I sorì sono lineari e disposti obliquamente. È una specie soprattutto calcicola e questo potrebbe essere il principale motivo della sua scarsa diffusione in Val di Merse, dove sono state osservate popolazioni di pochi individui che



Fig. 6 – *Polypodium cambricum*.

Fig. 7 – *Phyllitis scolopendrium* (Lingua cervina).Fig. 8 – *Thelypteris palustris*.

ricoprono grandi rocce nel fondo delle forre, nelle rupi ombrose e ai margini di alcuni fossi con esposizione principalmente Nord, Nord-Est.

Thelypteris palustris Schott

È caratterizzata da un rizoma lungamente strisciante e gracile. Le fronde fertili sono un po' più strette e coriacee di quelle sterili. Le fronde, posizionate lungo il rizoma (Fig. 8), sono 2 pennatosette con pinnule a margini interi. Nelle fronde fertili i sori sono di forma orbicolare e situati in prossimità del margine, che è revoluto.

In val di Merse è conosciuta una popolazione numerosa, ma estremamente localizzata, in località Mulino di Tifo (Angiolini & Landi, 2006). In particolare, si tratta di un piccolo pianoro risorgivo-palustre (circa 1 ettaro), in cui lo scorrimento idrico superficiale viene mantenuto durante l'anno dalla falda di una sorgente termale. La felce è presente tra l'ontaneta e la vegetazione dominata da *Cladium mariscus*, dove penetra nello strato inferiore (Landi & Angiolini, 2006). In Toscana meridionale è rarissima, poiché oltre a Mulino di Tifo, è attualmente conosciuta solo per il Lago di Chiusi (Angiolini *et al.*, 2010), dove fa parte della comunità dominata da *Phragmites australis* e *Cladium mariscus* (Lastrucci *et al.*, 2014).

Considerazioni generali

Sebbene le spore delle felci siano prodotte in quantità elevate e possano diffondersi fino a distanze dell'ordine di chilometri, la grande maggioranza di esse cade vicino alle piante madri, mentre quelle disperse più lontano difficilmente incontrano un nuovo habitat che sia idoneo alla crescita e allo sviluppo del gametofito. Inoltre, se per una spermatofita (pianta a seme) è teoricamente sufficiente un seme alla colonizzazione di un nuovo habitat, per le felci il processo di insediamento è molto più complesso (Tájek *et al.* 2011). Infatti, sebbene sia sufficiente una sola spora, poiché una felce (sporofito) può originarsi dalla fecondazione tramite anteridio e archeogonio (strutture riproduttive rispettivamente maschile

e femminile) all'interno di uno stesso gametofito, è molto più probabile lo sviluppo di un nuovo sporofito (la nuova felce) mediante fecondazione tra gametofiti differenti. Per soddisfare quest'ultima condizione è necessario, in ogni caso, che due spore cadano vicine tra loro e in un habitat favorevole. Il passaggio da gametofito a sporofito e la crescita fino alla fase matura, per produrre spore e dare origine a nuovi individui, possono infine richiedere diversi anni.

Si può quindi dedurre che la conservazione degli habitat idonei alle felci sia di estrema importanza per programmare una gestione ottimale dei diversi taxa. Per individuare gli habitat favorevoli, occorrono studi che misurino le variabili ambientali dei siti nonché la presenza e l'abbondanza delle specie che li hanno colonizzati. Ad oggi, sappiamo che in Toscana gli habitat più idonei sono i fossi con

Opere citate

- Angiolini C. & Landi M. (2006) – *Notula.N. 111: Thelypteris palustris Schott*. In: Marchetti (ed.): *Notule Pteridologiche Italiane V (111-133)*. Ann. Mus. civ. Rovereto Sez.: Arch. St. Sc. nat., 21: 243.
- Angiolini C., Ferretti G., Foggi B., Frignani F., Gestri G., Landi M., Lastrucci L., Monacci F., Peruzzi L., Sani A., Tomei P. E. & Venturi E. (2010) – *Notula n. 51: Thelypteris palustris Schott*. In: Peruzzi *et al.* (Ed.), *Contributi per una flora vascolare di Toscana I (1-85)*. Atti Soc. tosc. Sci. nat. Ser. B 116 (2009): 38.
- Conti F., Abbate G., Alessandrini A. & Blasi C. (Eds.) (2005) – *An annotated checklist of the Italian vascular flora*. Palombi Editori, Roma.
- Landi M. (2006) – *Notula.N. 127: Dryopteris carthusiana (Vill.) H.P. Fuchs*. In: Marchetti (ed.), *Notule Pteridologiche Italiane V (111-133)*. Ann. Mus. civ. Rovereto Sez.: Arch. St. Sc. nat., 21: 252.
- Landi M. & Angiolini C. (2006) – *L'area umida del Mulino di Tifo: un biotopo di notevole interesse botanico in Val di Farma (Siena, Toscana meridionale)*. Informatore Botanico Italiano, 38(2): 465-480.
- Landi M. & Angiolini C. (2007) – *Contributo alla conoscenza della distribuzione di Osmunda regalis L. in Toscana*. Informatore Botanico Italiano, 39(1): 113-122.
- Landi M. & Angiolini C. (2008) – *Habitat characteristics and vegetation context of Osmunda regalis L. at the southern edge of its distribution in Europe*. Botanica Helvetica, 118: 43-55.

elevata copertura forestale e le loro sorgenti. Queste caratteristiche garantiscono l'umidità edafica e atmosferica anche nel periodo estivo, che nell'area mediterranea è notoriamente più arido. Le foreste più idonee a vivere in questi substrati impregnati d'acqua sono indubbiamente quelle dominate dall'Ontano nero (*Alnus glutinosa*), che con la sua chioma mantiene l'ambiente ombroso e quindi fresco anche in estate. Differenze di esposizione, dei vari tipi di rocce e di suolo torboso aiutano invece a diversificare le felci presenti. Nel lungo termine, il mantenimento di habitat già colonizzati dalle felci, e di quelli idonei non ancora occupati (la cui gestione deve essere analoga a quella degli habitat occupati), sono i requisiti indispensabili per l'insediamento, la crescita e la conservazione di questo gruppo particolare di piante vascolari.

Landi M., Frignani F., Bonini I., Casini F., Saveri C., De Dominicis V. & Angiolini C. (2009) – *Flora and vegetation in the catchment area of the stream "La Bolza" in the Merse valley (Siena, southern Tuscany)*. Webbia, 64(2): 187-212.

Landi M. & Angiolini C. (2010a) – *Osmundo-Almion woods in Tuscany (Italy): A phytogeographical analysis from a west European perspective*. Plant Biosystems, 144(1): 93-110.

Landi M. & Angiolini C. (2010b) – *Ecological responses of Osmunda regalis to forest canopy cover and grazing*. American Fern Journal, 100(3): 137-147.

Landi A. & Angiolini C. (2011) – *Population structure of Osmunda regalis in relation to environment and vegetation: an example in the Mediterranean area*. Folia Geobotanica, 46: 49-68.

Landi M., Zoccola A., Bacaro G. & Angiolini C. (2014) – *Phenology of Dryopteris affinis ssp. affinis and Polystichum aculeatum: modeling relationships to the climatic variables in a Mediterranean area*. Plant Species Biology, 29: 129-137.

Lastrucci L., Bonari G., Angiolini C., Casini F., Giallonardo T., Gigante D., Landi M., Landucci F., Venanzoni R. & Viciani D. (2014) – *Vegetation of Lakes Chiusi and Montepulciano (Siena, central Italy)*. Plant Sociology, 51 (2): 29-55.

Paoli L. & Landi M. (2013) – *The photosynthetic performance of sterile and fertile sporophytes in a natural population of the fern Dryopteris affinis*. Photosynthetica, 51 (2): 312-316.

Tájek P., Bucharová A. & Münzbergová Z. (2011) – *Limitation of distribution of two rare ferns in fragmented landscape*. Acta Oecologica 37: 495-502.

Gli acquiferi costieri grossetani: stato delle conoscenze, evoluzione dei sistemi, ipotesi di gestione

Massimo Salleolini

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Laterina 8 - 53100 Siena

«Quando tu metti insieme la Scienza de' moti dell'acqua, ricordati di mettere, di sotto a ciascuna proposizione, li sua giovamenti, a ciò che tale scienza non sia inutile»

Leonardo da Vinci (1452-1519)

La popolazione mondiale abita per circa il 70% in zone costiere. La sensibile crescita demografica, osservabile anche lungo le coste italiane, è allarmante in quanto ad essa sono da legarsi la qualità e la quantità delle risorse idriche (negli ultimi decenni, la percentuale di acqua sotterranea utilizzata per scopi domestici è aumentata più del 40% su scala globale). Una gestione efficiente degli acquiferi costieri comporta il bilanciamento di numerose domande concorrenti ed esige l'impiego di modelli numerici basati su adeguate indagini di campagna e l'affermarsi di un consenso su opzioni proposte da pubbliche amministrazioni e/o da altri gruppi interessati.

Introduzione

La zona costiera grossetana, nella quale ricadono corpi idrici sotterranei significativi ai sensi della Del. n. 225 del 10 marzo 2003 (Regione Toscana, 2003, 2009), è largamente interessata dal problema dell'intrusione marina (Bencini & Pranzini, 1996; Barazzuoli *et al.*, 2006, 2008; Angelini *et al.*, 2000; Bencini *et al.*, 2001; Bianchi *et al.*, 2011; Aldinucci *et al.*, 2012; Nocchi & Salleolini, 2013); ciò comporta un deterioramento complessivo della qualità dell'acqua di falda e

locali effetti aggiuntivi riconducibili a concentrazioni anomale di metalli pesanti (Grassi & Netti, 2000; Protano *et al.*, 2000; Agati *et al.*, 2001). Tale situazione è generata da uno sfruttamento irrazionale degli acquiferi, per mezzo di migliaia di pozzi variabili per tipologia, profondità e portata estratta, ed è destinata ad aggravarsi a causa della tendenza alla riduzione delle risorse idriche potenziali rinnovabili, rilevabile in Toscana meridionale negli ultimi decenni (Barazzuoli *et al.*, 2003, 2004) e legata al calo delle precipitazioni totali annue e all'innalzamento del livello marino dovuto al riscaldamento globale (Bates *et al.*, 2008).

La degradazione della qualità della falda è un fattore che limita il locale sviluppo economico; ciò vale soprattutto per agricoltura, dove hanno dovuto orientarsi verso colture di minor pregio e più resistenti alla salinità o verso l'abbandono delle colture. L'Amministrazione Pubblica, consapevole della necessità di tenere sotto controllo il fenomeno, pone limitazioni all'uso della risorsa ai sensi della Del. n. 6 del 25 gennaio 2005 (Regione Toscana, 2005); risulta però evidente una generale carenza di conoscenza idrogeologica e idrogeochimica sugli acquiferi coinvolti, per cui si corre il rischio di attuare misure scarsamente efficaci o, al contrario, eccessivamente penalizzanti per il progresso delle attività economiche.

Da tempo il Gruppo di Idrogeologia dell'Università di Siena porta avanti un programma pluriennale di ricerca idrogeologica e idroge-

ochimica, che include la definizione di modelli concettuali degli acquiferi e l'applicazione di *map analysis* e di *Geographical Information System*, con l'obiettivo finale di sviluppare modelli numerici idonei al monitoraggio dell'intrusione marina ed alla gestione delle risorse idriche. Il presente articolo, che rientra in questo ambito, vuole illustrare in modo sintetico il diverso stato delle conoscenze sui principali acquiferi costieri grossetani, valutare localmente l'evoluzione generale dei sistemi sotto differenti condizioni di sollecitazione e proporre azioni di contrasto per una gestione integrata delle risorse idriche superficiali e sotterranee.

Inquadramento dell'area

L'area considerata, che riguarda la parte meridionale della Toscana (Fig. 1), è estesa complessivamente circa 700 km² ed è attraversata dai tratti finali dei fiumi Bruna, Ombrone e Albegna (con portate medie annue alla foce di circa 3, 26 e 5 m³/s rispettivamente), da corsi d'acqua minori (che scendono dai rilievi circostanti con regime spiccatamente torrentizio) e da numerose opere di canalizzazione (generalmente conseguenti alle operazioni di bonifica lorenese e fasciste di antiche zone lagunari). Essa è costituita in prevalenza da zone pianeggianti, con quote medie intorno ai 5

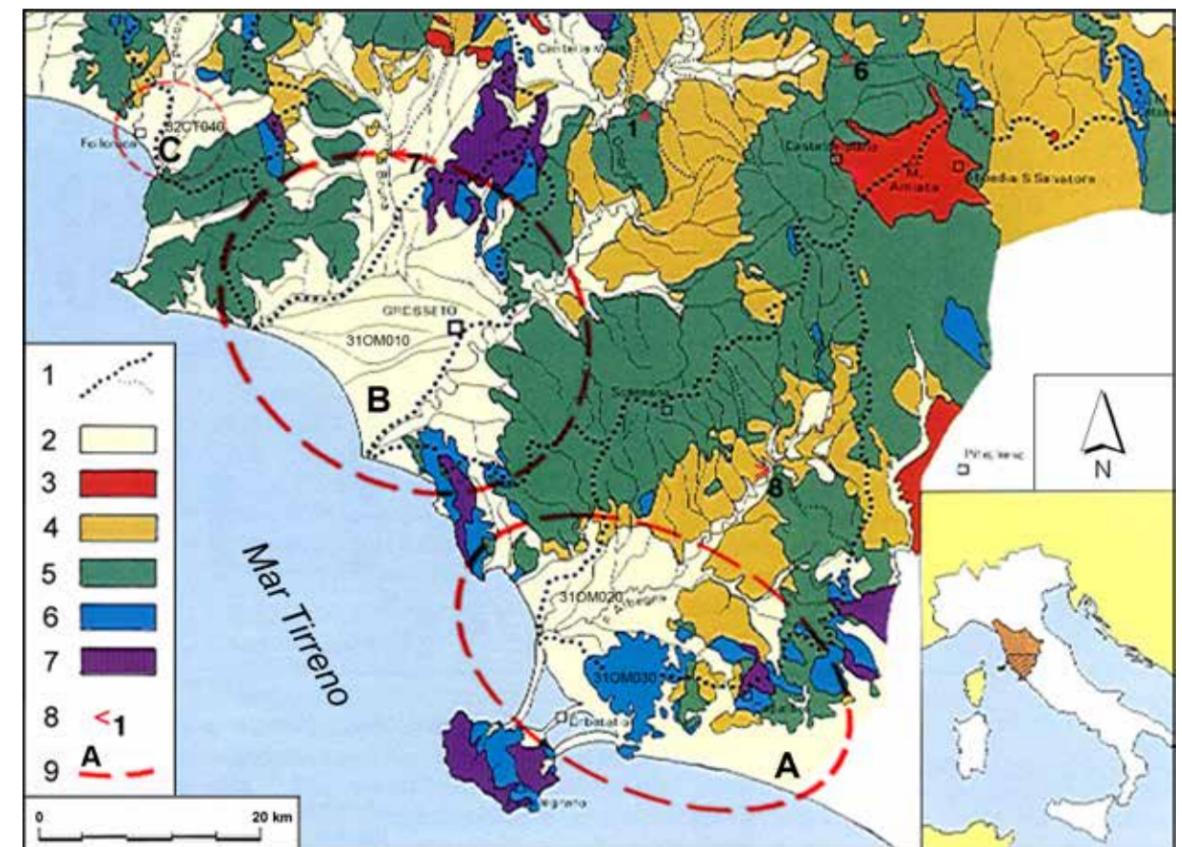


Fig. 1 - Schema idrogeologico della Toscana meridionale (Barazzuoli *et al.*, 2004, modificato): 1) spartiacque morfologico; 2) depositi prevalentemente continentali costituiti da ghiaie, sabbie, argille, calcareniti (Pliocene-Quaternario); 3) rocce vulcaniche (Pliocene-Quaternario); 4) depositi marini e continentali composti da conglomerati, sabbie, argille, calcareniti (Miocene-Pliocene); 5) successioni prevalentemente flyschoidi costituite da formazioni argillose, arenacee e marnose dominanti, con irregolari intercalazioni di livelli calcarei, ofiolitici, ecc. (Cretaceo-Miocene); 6) successioni carbonatiche, talvolta con alternanze marnose e siliciche (Triassico-Miocene); 7) rocce plutoniche (Pliocene-Quaternario) e metamorfiche (Carbonifero-Triassico); 8) stazione idrometrografica (con relativo numero d'ordine); 9) zone indagate (A = dal F. Osa al T. Chiarone; B = Pianura di Grosseto; C = Pianura di Follonica), la cui numerazione interna si riferisce al codice del corpo idrico sotterraneo significativo ai sensi della Del. n. 939 del 26 ottobre 2009 (Regione Toscana, 2009).

m s.l.m., ma anche da zone collinari che le circondano, aventi quote non superiori ai 600 m s.l.m.

Il clima è tipicamente mediterraneo, con inverni freddi ed estati calde relativamente asciutte. Le precipitazioni, mediamente comprese tra i 600 ed i 700 mm/anno, presentano un minimo a luglio ed un massimo a ottobre-novembre; le temperature medie annue sono di 15-16 °C, con minimi di 8-9 °C a gennaio e massimi di 24-25 °C ad agosto. Secondo la classificazione climatica di Thornthwaite (1948), queste caratteristiche fanno rientrare l'area investigata nella categoria subarida C₁ (Barazzuoli *et al.*, 1993).

I depositi plio-quadernari della costa grossetana, prevalentemente continentali (ghiaie, sabbie, argille, calcareniti), ospitano importanti acquiferi e sono caratterizzati da un grado variabile di infiltrazione delle acque meteoriche (direttamente ed indirettamente dal reticolo fluviale) e da una discreta circolazione sotterranea, sia epidermica che profonda (pianura di Grosseto, basse valli del Pecora e dell'Albegna). Anche le successioni carbonatiche, appartenenti per lo più al Triassico, si distinguono per l'elevata infiltrazione e la notevole circolazione sotterranea (zone di Orbetello e di Capalbio, Monti dell'Uccellina, Monte Argentario). I restanti complessi (depositi marini e continentali mio-pleiocenici, sequenze cretaco-mioceniche in gran parte flyschoidi, rocce metamorfiche permo-triassiche) mostrano invece una limitata circolazione sotterranea e sorgenti generalmente di scarsa consistenza e con caratteri di intermittenza.

Settore meridionale (dal F. Osa al T. Chiarone)

GEOMETRIA E STRUTTURA DEGLI ACQUIFERI

I depositi plio-pleistocenici della pianura dell'Albegna contengono un sistema acquifero multifalda costituito da livelli sabbioso-ghiaiosi accorpabili in tre principali orizzonti produttivi

(Fig. 2). Questi livelli risultano solitamente separati da acquitardi composti da depositi argillosi con limi e/o sabbie in proporzioni variabili; un altro acquitardo, formato da limi argilloso-sabbiosi, si ritrova alla sommità della serie. Il sistema poggia su di un substrato argilloso impermeabile, eccetto lungo i suoi limiti laterali dove sono invece possibili collegamenti idrici con l'esterno per la presenza di rocce più o meno permeabili. A SE, il Calcarea cavernoso è in contatto per faglia con i livelli produttivi ed è quindi probabile che esistano scambi idrici con un'alimentazione naturale dalla formazione calcarea verso le alluvioni; in questi ultimi anni la situazione si è stabilmente invertita a causa dei forti emungimenti attuati nell'acquifero carbonatico per fini acquedottistici. La ricarica del sistema avviene, per la maggior parte, attraverso l'infiltrazione diretta delle precipitazioni nella pianura; ulteriori contributi sono forniti da quella negli orizzonti permeabili degli affioramenti esterni (flussi laterali, a nord ed est) e dalle immissioni d'acqua attraverso il contatto alluvioni-Calcare cavernoso (flussi laterali e verticali, a SE). Il deflusso naturale si realizza in modo diffuso verso il mare e l'Albegna; l'estrazione intensiva dell'acqua di falda per mezzo dei pozzi costituisce il deflusso artificiale. Nell'acquifero si hanno scambi idrici sia per cause naturali (*leakage*, chiusura degli acquitardi) che artificiali (pozzi multifinestrati). L'Albegna svolge un ruolo importante in questo sistema, esercitando un'azione drenante sulla falda in gran parte del suo corso; il fiume contribuisce all'alimentazione dell'acquifero in periodi variabili dell'anno a seconda del settore.

Il sistema acquifero carbonatico, ubicato ad est della Laguna di Orbetello, presenta un'ampia e complessa circolazione idrica (Fig. 3), è altamente permeabile per fessurazione e carsismo ed è pesantemente sfruttato per uso ittico ed acquedottistico. Condotti, fratture e porosità matriciale coesistono nell'acquifero; dati ed osservazioni di campagna (*karst index* = 0,63 doline/km²) suggeriscono che la permeabilità associata alla porosità secondaria (condotte e fratture) è dello stesso or-

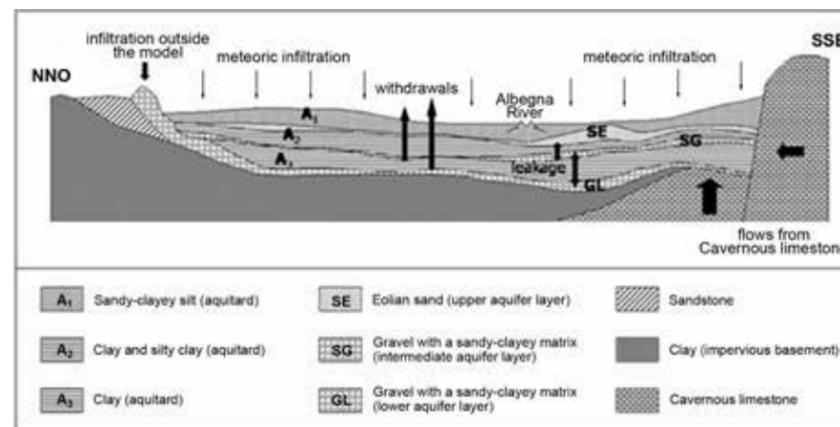


Fig. 2 - Sezione schematica e modello concettuale del sistema acquifero multifalda ospitato nei sedimenti eolici ed alluvionali della pianura dell'Albegna (Barazzuoli *et al.*, 2008, modificata). La scala delle altezze è 20 volte quella delle lunghezze.

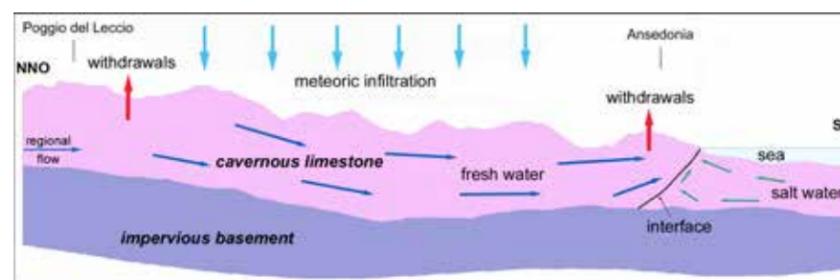


Fig. 3 - Sezione schematica e modello concettuale del sistema acquifero contenuto nel Calcarea cavernoso ubicato ad est della Laguna di Orbetello (Nocchi & Salleolini, 2013, modificata). La scala delle altezze è due volte quella delle lunghezze.

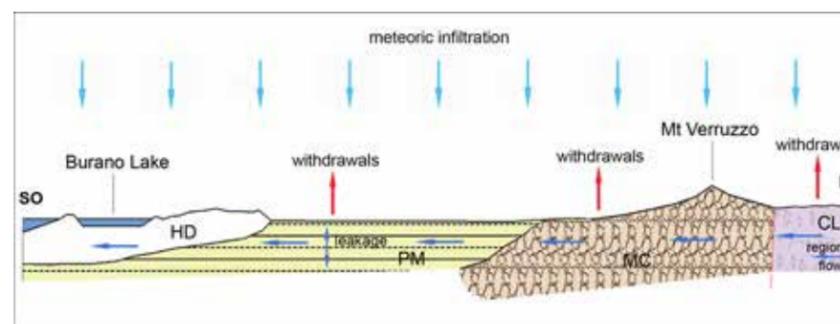


Fig. 4 - Sezione schematica e modello concettuale degli acquiferi ospitati nei sedimenti neautoctoni e nel Calcarea cavernoso a sud di Ansedonia (Bianchi *et al.*, 2011, modificata): HD = depositi olocenici; PM = argille e sabbie marine pleistoceniche; MC = conglomerati miocenici; CL = Calcarea cavernoso. La scala delle altezze è tre volte quella delle lunghezze.

dine di grandezza di quella primaria. L'acquifero sovrasta un basamento impermeabile, formato da rocce metamorfiche triassiche, che nella zona di Ansedonia raggiunge profondità massime di 350-400 m; il flusso lungo l'interfaccia acqua dolce/acqua salata può quindi provenire da notevoli profondità, con la risalita di acque di differente età, salinità e temperatura. La ricarica del sistema avviene in prevalenza con l'infiltrazione diretta delle precipitazioni nel deposito calcareo; è probabile anche un contributo di circolazione regionale (flussi laterali, da NE). Il deflusso naturale si realizza in modo diffuso verso il mare, la laguna

e la pianura dell'Albegna; l'estrazione intensiva dell'acqua di falda per mezzo dei pozzi costituisce il deflusso artificiale.

Le conoscenze idrogeologiche acquisite a sud di Ansedonia consentono di pervenire a una schematizzazione concettuale assai meno affidabile delle precedenti (Fig. 4). Nella fascia costiera i depositi quaternari contengono orizzonti di varia produttività costituiti da lenti sabbioso-ghiaiose inglobate in una predominante litologia limoso-argillosa di bassa permeabilità; il settore collinare è invece localmente interessato da formazioni di medio-alta permeabilità (depositi traverti-

nosi, conglomerati pliocenici, Calcarea cavernoso), dove sono perforati pozzi di buona produttività. La ricarica degli acquiferi avviene in genere tramite l'infiltrazione diretta delle precipitazioni nei vari depositi permeabili; all'interno del Calcarea cavernoso, è possibile un contributo di circolazione regionale con caratteristiche simili a quelle prima descritte. Il deflusso naturale si realizza in modo diffuso verso il Lago di Burano e il mare; l'estrazione dell'acqua di falda per mezzo dei pozzi costituisce il deflusso artificiale. Nei sedimenti quaternari sono probabili scambi idrici per cause sia naturali che artificiali.

DISTRIBUZIONE DEL CARICO IDRAULICO

I dati raccolti mettono in evidenza che gli acquiferi sono generalmente liberi (o semiconfinati) nei settori interni e diventano semiconfinati (o confinati) verso il mare per la presenza di coperture e/o intercalazioni semipermeabili (o impermeabili); l'acquifero carbonatico è libero dove affiora il Calcarea cavernoso e semiconfinato (o confinato) nel resto dell'area. Le superfici piezometriche ricostruite (Fig. 5) mostrano il pesante condizionamento operato dagli emungimenti sullo spostamento delle acque sotterranee, con la formazione di aree a piezometria negativa coincidenti con le principali zone di captazione; nel periodo estivo, le maggiori depressioni sono ubicate presso il F. Osa (fino ai -4 m s.l.m.), nella zona di Ansedonia (fino ai -5 m s.l.m. degli impianti di piscicoltura) e, soprattutto, a NE di Ansedonia (zona Le Forane) dove il pompaggio attuato per l'acquedotto genera addirittura valori di -30 m s.l.m. Il movimento generale del flusso idrico è verso la laguna e il mare. Nella pianura dell'Albegna le principali direzioni di flusso provengono da nord e NE, convergono in corrispondenza del fiume (che costituisce quindi il principale asse di drenaggio della falda) e proseguono poi insieme fino al mare. Nei rilievi ad est della Laguna di Orbetello è probabile la presenza di un contributo di circolazione regionale, che si aggiunge al quantitativo di ricarica meteorica infiltratasi direttamente nel

deposito carbonatico. A sud di Ansedonia è presente un prevalente flusso proveniente da NNE, che si origina nei rilievi capalbiesi. La pendenza della superficie piezometrica è debole (il gradiente idraulico è 1-2 ‰ nella pianura dell'Albegna e 4-6 ‰ nella fascia pedecollinare capalbiese) e sostanzialmente costante; fanno eccezione le zone di Ansedonia e Le Forane, dove il maggiore gradiente è associato ai locali forti prelievi di acqua sotterranea.

La variazione piezometrica tra febbraio e luglio 2009 è mediamente di -1,8 m, con valori massimi di quasi -10 m, e deriva ovviamente dalla combinazione dei quantitativi idrici in uscita ed in entrata negli acquiferi; in relazione a quest'ultimi, il confronto tra le precipitazioni medie annue del trentennio 1967-1996 (632 mm) e quelle del periodo 2008-2009 (1134 mm, con un aumento del 79 %) suggerisce che l'abbassamento della piezometria non possa certo imputarsi alla generale tendenza verso la riduzione della ricarica meteorica che caratterizza in modo più o meno marcato tutto il territorio della Toscana meridionale. In sostanza, il calo piezometrico riscontrato tra febbraio e luglio appare semplicemente la conseguenza degli emungimenti primaverili-estivi di acqua sotterranea effettuati per vari usi, ma soprattutto per le esigenze agricole e turistiche.

QUALITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

Il chimismo maturo delle normali acque sotterranee delle pianure costiere grossetane, causato dalla concentrazione progressiva lungo il flusso (*aging process*), è talvolta modificato in modo significativo da intrusioni saline solfatice e/o cloruriche (*mixing process*) e da scambi ionici con la matrice (*cation exchange process*). La figura 6 mostra che le acque studiate sono caratterizzate dalla coesistenza delle principali facies idrochimiche e da locali fenomeni di compensazione della variabilità chimica, attivati dall'interazione acqua/matrice e comuni negli acquiferi costieri interessati da un processo di salinizzazione (Kim *et al.*, 2003; Capaccioni *et al.*, 2004; Faye *et al.*, 2005).

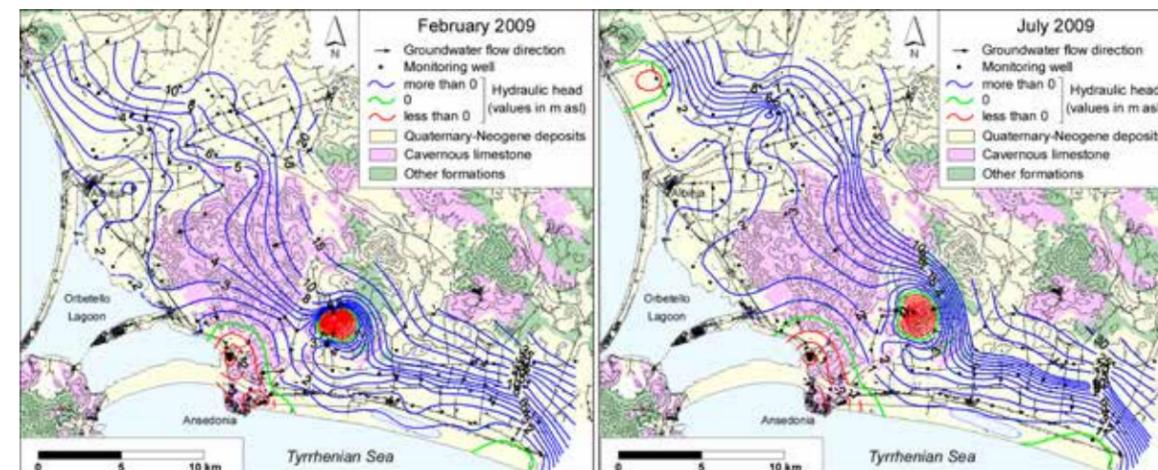


Fig. 5 - Carte delle isopiezometriche di falda (Bianchi *et al.*, 2011). Le perforazioni che attraversano gli acquiferi presentano al loro interno un livello d'acqua la cui quota (elevazione al di sopra del livello medio del mare) rappresenta il locale *carico idraulico*, detto anche comunemente *livello piezometrico*. L'insieme di tali livelli, misurati in differenti punti ad una data stabilita, costituisce la superficie piezometrica della falda; analogamente alle quote del livello del suolo che consentono di tracciare la superficie topografica, la superficie piezometrica è rappresentabile su apposite carte con curve di uguale livello piezometrico o curve isopiezometriche. Detta superficie presenta una pendenza (variabile nel tempo e nello spazio) che è possibile misurare sulla carta delle isopiezometriche dividendo il dislivello tra due isolinee successive per la loro distanza minima: si ottiene così il valore del *gradiente idraulico* (o *cadente piezometrica*).

La facies bicarbonato-calcica (HCO_3-Ca), presente soprattutto nelle zone interne, è da collegarsi a una circolazione recente e relativamente superficiale di ricarica meteorica. La facies solfato-calcica (SO_4-Ca), riscontrabile in pozzi ubicati nella pianura dell'Albegna, è da associare al flusso di falda proveniente da NE; tale flusso appare alimentato dall'infiltrazione meteorica e dalla filtrazione delle acque fluviali, le quali risultano pressoché identiche a quelle che dalle Terme di Saturnia si immettono nell'alto corso dell'Albegna e ne costituiscono la maggior parte del flusso di base. Il chimismo rilevato in alcuni pozzi a NE di Ansedonia appare legato alla circolazione idrica nella falda di base del Calcarea cavernoso, la quale è alimentata dalla ricarica meteorica e da un probabile contributo di flusso regionale. La facies clorurato-alcina ($Cl-Na$) è rilevabile lungo tutta la fascia costiera ed è dovuta al miscelamento di acque continentali e marine in diverse proporzioni, che è influenzato dalle diffuse depressioni piezometriche; infatti, la facies occupa all'incirca la zona con piezometrie inferiori a 2 m s.l.m. e concentrazioni di cloruri maggiori di 500 mg/L. Il chimismo marino si ritrova pressoché

invariato in diversi pozzi ad uso ittico (zona di Ansedonia).

L'analisi della figura 6 consente anche di individuare acque $Cl-Na$ (comprese le Terme dell'Osa) che presentano un arricchimento in solfati e calcio rispetto a quelle presenti lungo la *mixing line A*; tale variazione di chimismo può essere ricondotta ad una miscelazione tra acque SO_4-Ca di circolazione regionale ed acque $Cl-Na$ di probabile origine marina, che spiega anche la formazione di acque con facies $Cl-Ca$ per le quali intervengono pure reazioni di scambio ionico inverso. Infine, la facies HCO_3-Na è da associare a fenomeni di scambio ionico diretto su acque HCO_3-Ca in formazioni caratterizzate dalla relativa abbondanza della frazione argillosa.

La distribuzione del tenore in cloruri (Fig. 7) consente di evidenziare il notevole degrado della qualità dell'acqua di falda lungo tutta la fascia costiera fino alla località Diacciobello (NNE di Ansedonia, dove si registrano valori di 600 mg/L), ad eccezione della zona prossima alla foce dell'Osa e del tratto compreso tra il Lago di Burano ed il T. Chiarone; il valore medio globale è di quasi 700 mg/L (27 % della salinità to-

tale). L'acquifero carbonatico, caratterizzato da una concentrazione media di circa 1000 mg/L, è molto vulnerabile all'inquinamento idrovelocitato a causa della sua elevata permeabilità per fessurazione e carsismo; le attuali conoscenze indicano concordemente che la zona di Ansedonia è l'ingresso principale dell'intrusione marina. Riguardo alla pianura dell'Albegna, le acque con più alte concentrazioni di cloruri si riscontrano in pozzi finestrati nel livello acquifero inferiore (ghiaie e sabbie plioceniche) ed ubicati nel settore prospiciente la costa dov'è più marcata la depressione piezometrica; la propagazione dell'acqua di mare è anche favorita dalle caratteristiche costruttive dei pozzi (multi-finestratura).

Il diagramma della figura 8, che consente sostanzialmente il confronto tra i fattori tempo (asse ^3H) e salinità (asse $\delta^{18}\text{O}$), individua le seguenti tipologie: **A**) acque in cui il contributo marino non supera il 10 %, che si differenziano per il contenuto in trizio e quindi per il tempo intercorso tra l'infiltrazione ed il campionamento. In particolare, la fascia costiera della pianura dell'Albegna e l'acquifero carbonatico nei pressi della Laguna di Ponente mostrano acque sotterranee aventi tenori isotopici molto bassi (0-1 ^3H vs -6-5 $\delta^{18}\text{O}$) per cui rappresentano il luogo d'incontro tra acque continentali e marine con lunghi tempi di residenza nel sottosuolo; **B**) acque estratte dalla maggior

parte dei pozzi ad uso ittico, in cui si riconosce un contributo marino usualmente superiore al 90 % e che sono molto simili riguardo al contenuto isotopico. La loro origine appare dovuta ad una circolazione più o meno profonda d'acqua di mare, con tempi di residenza medio-lunghi nel sottosuolo durante la risalita lungo l'interfaccia acqua dolce/acqua salata; **C**) acque con caratteristiche intermedie rispetto alle precedenti, che comprendono la sorgente termale dell'Osa ed alcuni pozzi per la piscicoltura.

EVOLUZIONE DEI SISTEMI ACQUIFERI

Sul medio-lungo periodo gli effetti di una determinata politica di gestione del territorio sono spesso difficili da prevedere, specie se questa riguarda il fenomeno dell'intrusione marina che ha ancora molteplici aspetti da chiarire (Bear *et al.*, 1999; Cheng & Ouazar, 2004). Per una gestione delle acque sotterranee corretta e lungimirante si richiede, pertanto, l'utilizzo di modelli numerici finalizzati a testare scenari di sfruttamento, considerando non solo gli aspetti tecnici, ma anche quelli economici, legali, sociali e politici (Emch & Yeh, 1998; van Dam, 1999; Bear, 2004; Maimone *et al.*, 2004).

Il modello numerico, sviluppato per la simulazione idrodinamica dell'acquifero plio-pleistocenico della pianura dell'Albegna (Barazzuoli *et al.*,

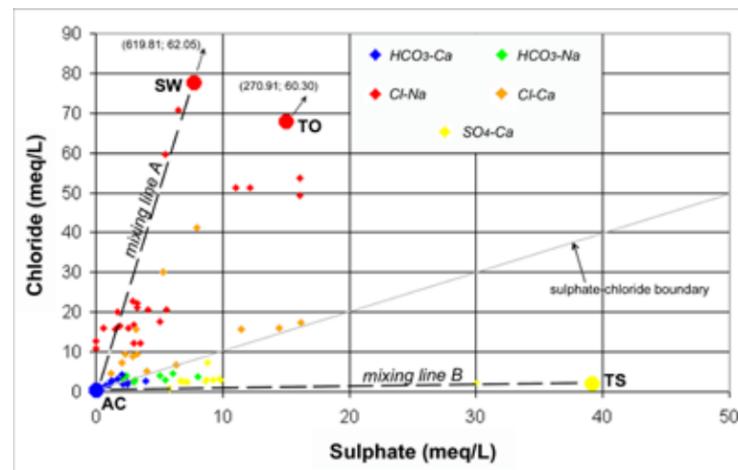


Fig. 6 – Diagramma di correlazione Cl vs SO_4 dei campioni d'acqua di falda (Bianchi *et al.*, 2011); valori di febbraio e luglio 2009. Il diagramma riporta anche il chimismo delle sorgenti termominerali "Saturnia" (TS) ed "Osa" (TO), del mare (SW) e di una tipica acqua continentale di circolazione recente e superficiale alimentata dalla ricarica meteorica (AC).

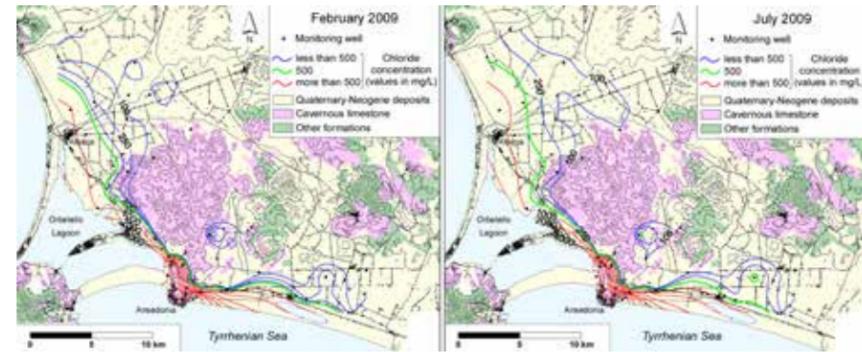


Fig. 7 - Carta del tenore in cloruri nell'acqua di falda (Bianchi *et al.*, 2011).

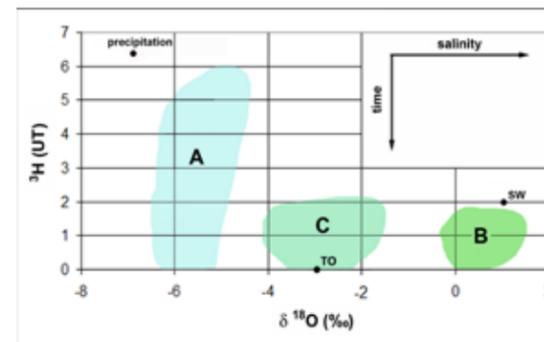


Fig. 8 – Diagramma di correlazione ^3H vs $\delta^{18}\text{O}$ dei campioni d'acqua di falda (Bianchi *et al.*, 2011, modificato); valori medi 2004-2009. Il diagramma riporta anche il contenuto isotopico della sorgente termominerale "Osa" (TO), del mare (SW) e quello della pioggia per l'Italia centrale. Il significato dei simboli **A**, **B** e **C** è riportato nel testo. Gli isotopi stabili dell'acqua (^{18}O e ^2H) servono a caratterizzarla e a determinarne l'origine. Il trizio (^3H), isotopo radioattivo con tempo di dimezzamento di 12,43 anni, viene utilizzato per calcolare l'età relativa dei campioni (cioè, del tempo intercorso dalla separazione dal sistema atmosferico) coprendo un intervallo di circa 50 anni.

2008), indica un sostanziale equilibrio medio tra entrate e uscite nonostante che nella fascia litoranea sia presente l'intrusione marina. Il modello evidenzia che il problema è legato essenzialmente all'emungimento concentrato nella stagione irrigua che richiama acqua di mare, soprattutto nel tratto Osa-Albegna, a cui si aggiungono le ingressioni lungo il fiume che vanno talvolta ad alimentare la falda. Il deterioramento qualitativo della falda sembra quindi da associare più alle modalità del prelievo (dove e quando) che ai considerevoli quantitativi complessivamente estratti (circa $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$). Gli effetti di ipotetici scenari di sfruttamento dell'acquifero sono stati stimati in termini di evoluzione del bilancio idrico e dei carichi idraulici a partire da febbraio 2003 (Fig. 9); le pre-

visioni riguardano i successivi 10 anni e prendono in considerazione il locale *trend* climatico.

In relazione al limite costiero, negli scenari B ed E si riscontra un incremento del deflusso di falda verso il mare, specialmente nel settore Osa-Albegna più interessato dagli emungimenti; pertanto, anche il solo spostamento dei pozzi costieri determina la riduzione dell'intrusione marina e può realmente contrastare la degradazione della qualità dell'acqua di falda. Considerando però la superficie piezometrica alla fine della simulazione relativa allo scenario A e le sue variazioni rispetto ai valori calcolati negli scenari B ed E, si può concludere che solamente una forte diminuzione dell'acqua estratta dall'acquifero potrebbe portare alla riattivazione del deflusso netto di falda verso il mare e, soprattutto, verso il fiume; infatti, lo spostamento dei pozzi senza un calo significativo delle portate emunte provocherebbe anche un abbassamento del livello piezometrico (una maggiore aliquota d'acqua dolce verrebbe estratta dall'acquifero).

Il modello numerico, sviluppato per la simulazione idrodinamica e idrochimica dell'acquifero carbonatico (Nocchi & Salleolini, 2013), evidenzia un saldo negativo di quasi $9 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{anno}$ per il bilancio d'acqua dolce del sistema anche in un periodo idrologico caratterizzato da una ricarica superiore alla media (+19 % nel 2004-2005), identificando una situazione di reale sovrasfruttamento dell'acquifero causata soprattutto dal quantitativo d'acqua dolce (circa $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$, 17 % del totale) estratto dagli impianti di piscicoltura insieme all'acqua di mare, ma anche dagli

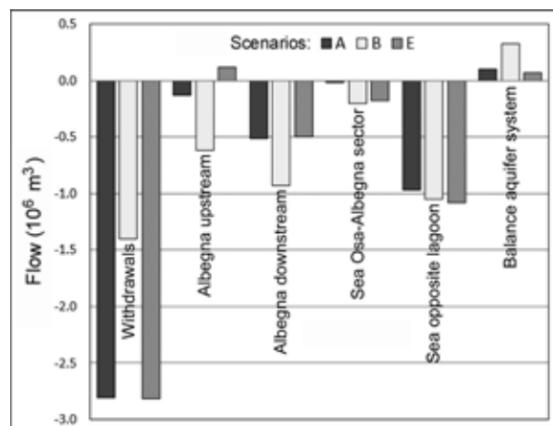


Fig. 9 – Bilancio idrico di ipotetici scenari di sfruttamento (febbraio 2012 - febbraio 2013) dell'acquifero plio-pleistocenico della pianura dell'Albegna (Barazzuoli *et al.*, 2008); i valori positivi indicano le entrate nel sistema, mentre quelli negativi indicano le uscite. Albegna: *upstream* = dalla località Marsiliana alla confluenza con il T. Magione; *downstream* = dalla confluenza con il Magione alla foce. Mare: *Osa-Albegna sector* = dalla foce dell'Osa a quella dell'Albegna; *opposite lagoon* = dalla foce dell'Albegna all'estremità sud del modello. Scenari: A = mantenimento delle attuali condizioni di sfruttamento; B = dimezzamento della portata estratta da tutti i pozzi della pianura, ma senza spostarli; E = spostamento di tutti i pozzi costieri ad almeno 3 km dalla linea di costa ed il mantenimento dell'attuale emungimento complessivo.

emungimenti per usi irrigui ($0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$) e domestici ($6,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$). A partire dall'ottobre del 2005, gli effetti di ipotetici scenari di sfruttamento dell'acquifero sono stati stimati in termini di evoluzione dei carichi idraulici e della salinità, nonché di bilancio idrico medio (Fig. 10-11); tali previsioni riguardano i successivi 30 anni e prendono in considerazione il locale *trend* climatico.

Ne deriva che l'odierno sistema di sfruttamento dell'acquifero condurrà, in ogni caso, ad un peggioramento della qualità chimica dell'acqua e la velocità di degradazione dipenderà dai tassi effettivi di ricarica. Inoltre, ai fini di una gestione sostenibile dell'acquifero, risulta più idoneo ridurre gli emungimenti destinati all'acquedotto rispetto a quelli a carico degli impianti di piscicoltura, i quali hanno un impatto più localizzato sulla degradazione della qualità della falda. Il discorso cambia se si considera, invece, la posizione dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata; l'analisi dello scenario D mostra, infatti, che la riduzione degli emungimenti per l'acquedotto provoca

l'aumento della concentrazione salina nelle zone prossime agli impianti ittici.

IPOTESI DI GESTIONE

Gli interventi atti a contrastare l'avanzamento nell'entroterra dell'intrusione marina sono realmente efficaci solo se comprendono la copertura del deficit di bilancio che ha causato il degrado qualitativo della falda; gli interventi parziali, finalizzati solamente a bloccare l'ingressione marina, generano altri inconvenienti tipici del sovrasfruttamento degli acquiferi (depauperamento delle risorse e riserve idriche, peggioramento progressivo della qualità chimica dell'acqua, ecc.). L'unica soluzione al problema, ragionevole e praticabile, appare quindi la gestione integrata delle risorse idriche superficiali e sotterranee, tenendo presente la quantità e la qualità dell'acqua per i vari usi (Emch & Yeh, 1998; van Dam, 1999; Maimone *et al.*, 2004; Bear, 2004), anche se in Italia rimane molto da fare in termini di pianificazione territoriale e di mitigazione dei conflitti tra gli utilizzatori (Barrocu, 2003).

In generale, pertanto, dovrebbero prendersi in considerazione interventi come la riutilizzazione di acque reflue depurate, la realizzazione di invasi artificiali e di opere di derivazione da corsi d'acqua, ecc., capaci di migliorare in modo diretto e/o indiretto il bilancio idrico degli acquiferi; queste operazioni comportano però notevoli impegni finanziari e quindi dovrebbero essere attuate solamente a seguito di accurati studi idraulici ed idrogeologici che ne dimostrino la fattibilità e l'efficacia. Anche il doveroso rifacimento dei tratti obsoleti della rete acquedottistica consente, di fatto, il recupero di risorse idriche a vantaggio dell'equilibrio di bilancio.

Il degrado della qualità chimica della falda contenuta nel sistema acquifero multifalda della pianura dell'Albegna è legato essenzialmente ai cospicui emungimenti, in prevalenza ad uso agricolo, concentrati nella stagione irrigua che richiamano acqua di mare soprattutto nel tratto Osa-Albegna. In questo caso, la soluzione più appropriata appare quella di sostituire il quantitativo

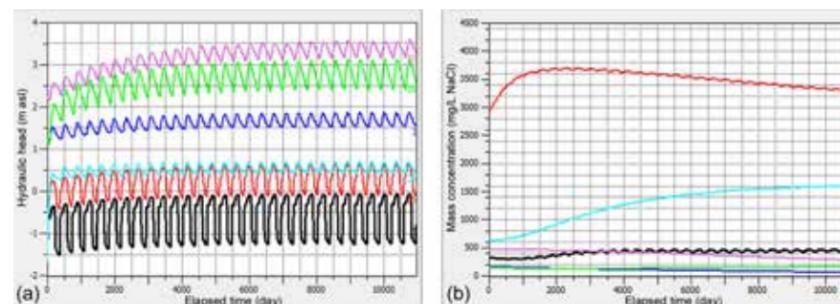


Fig. 10 – Previsioni relative allo scenario C fino al 30 settembre 2035 per alcuni pozzi di osservazione dell'acquifero carbonatico ubicato ad est della Laguna di Orbetello (Nocchi & Salleolini, 2013): a) carico idraulico; b) concentrazione salina. Scenario: dimezzamento della portata estratta dai pozzi degli impianti ittici.

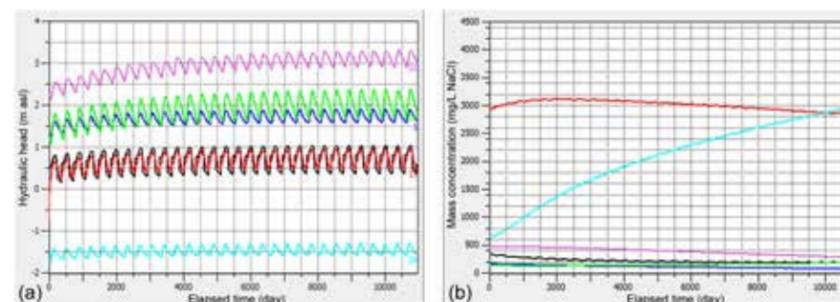


Fig. 11 – Previsioni relative allo scenario D fino al 30 settembre 2035 per alcuni pozzi di osservazione dell'acquifero carbonatico ubicato ad est della Laguna di Orbetello (Nocchi & Salleolini, 2013): a) carico idraulico; b) concentrazione salina. Scenario = dimezzamento della portata estratta dai pozzi dell'acquedotto.

vo estratto con acqua reflua depurata e/o acqua superficiale trattenuta con invasi artificiali; un'altra soluzione ipotizzabile è quella di realizzare impianti di ricarica artificiale della falda mediante pozzi di iniezione o bacini di infiltrazione delle acque reflue depurate e/o canali di infiltrazione di portate invernali dei corsi d'acqua. Ovviamente, possono essere previste anche soluzioni miste.

Il sovrasfruttamento dell'acquifero carbonatico ad est della Laguna di Orbetello è causato soprattutto dall'estrazione di un consistente quantitativo d'acqua dolce da parte degli impianti di piscicoltura, che sono invece interessati ad utilizzare solo acqua salata al fine di garantire la continuità e la qualità della produzione ittica; ciò potrebbe ottenersi mediante l'approfondimento dei pozzi fino a quote dell'acquifero occupate stabilmente da acqua di mare (Nocchi & Salleolini, 2013), in modo da realizzare una sorta di efficiente barriera dinamica con emungimento (Sherif & Hamza, 2001; Kacimov *et al.*, 2009; Pool & Carrera, 2010). Anche in questo caso, inoltre, si dovrebbe prevedere la sostituzione dell'acqua di falda estratta a scopo irriguo con acqua reflua depurata e/o acqua superficiale trattenuta con invasi artificiali; le carat-

teristiche di permeabilità del materiale acquifero (Calcere cavernoso) e la posizione altimetrica dei relativi affioramenti sconsigliano, invece, sia la realizzazione di impianti di ricarica artificiale della falda con pozzi di iniezione o bacini di infiltrazione delle acque reflue depurate, che l'adozione di canali di derivazione di portate invernali dei corsi d'acqua. Un importante intervento migliorativo consiste anche nella riduzione significativa delle portate estratte dai pozzi dell'acquedotto, accompagnata magari da un'opportuna riprogettazione della rete di questi pozzi in modo da ottenere una maglia più regolare, più lontana dalla costa e con portate emunte meglio distribuite (oltre al necessario rifacimento dei tratti obsoleti della rete).

Settore centrale (Pianura di Grosseto)

GEOMETRIA E STRUTTURA DELL'ACQUIFERO

La correlazione su base stratigrafico-ambientale dei sedimenti recenti della pianura di Grosseto

ha permesso di conseguire un modello geometrico-strutturale del sistema acquifero multifalda idoneo all'individuazione delle principali unità idrostratigrafiche (Fig. 12). Più in particolare, la successione sedimentaria pleistocenica e olocenica delle paleo-valli fluviali dell'Ombrone e del Bruna è stata suddivisa in due sequenze, separate da una superficie di *unconformity*, che si sono formate durante la fase di stazionamento basso dell'ultima fase glaciale (Aldinucci *et al.*, 2012). La prima (Pleistocene Superiore) è rappresentata da limi di piana esondabile a cui si intercalano corpi ghiaioso-sabbiosi che esprimono il riempimento di canali fluviali; in prossimità del substrato pre-neogenico, questi depositi passano e si interdigitano a sedimenti grossolani con scarsa maturità tessiturale e sedimenti eluvio-colluviali. La seconda (fine Pleistocene - Olocene) è caratterizzata, invece, da tre distinte tipologie sedimentarie: *i) quella di riempimento della paleo-valle dell'Ombrone*, con spessore massimo di 73 m. Nei primi 24 m essa mostra ghiaie fluviali, mentre nella parte restante è costituita da un sistema di estuario (da legarsi alla trasgressione versiliana) con cordoni sabbiosi limitanti verso terra un'area marina ristretta relativamente profonda e ghiaie sabbiose deltizie passanti verso terra a depositi ghiaioso-sabbiosi fluviali e limi di piana esondabile; *ii) quella di riempimento della paleo-valle del Bruna*, con spessore massimo di 32 m. Essa inizia con ghiaie e sabbie fluviali nelle aree assiali (spessore massimo di 16 m), che verso l'alto passano ad argille di

estuario a loro volta laterali a sabbie costiere dalle quali sono spesso ricoperte unitamente ad argille lagunari; *iii) quella di interfluvio*, depostasi sopra un alto morfologico della superficie di *unconformity* e comprendente limi di piana esondabile passanti verso mare a cordoni sabbiosi con spessore massimo di 8 m.

Questo sistema acquifero poggia in prevalenza su di un substrato argilloso impermeabile, mentre lungo i suoi limiti laterali sono possibili collegamenti idrici con l'esterno per la presenza di rocce più o meno permeabili. Nelle zone di Bagno Roselle ed Alberese le formazioni carbonatiche sono in contatto con i livelli produttivi per cui è probabile l'esistenza di scambi idrici, con un flusso che va dagli ammassi litoidi verso i sedimenti quaternari e aumenta con lo sfruttamento dell'acquifero. La ricarica del sistema è dovuta prevalentemente alle infiltrazioni meteoriche nei rilievi circostanti la pianura; ulteriori contributi sono forniti dall'acqua che penetra direttamente attraverso il contatto alluvioni-formazioni carbonatiche. Il deflusso naturale si realizza in modo diffuso verso il mare e i principali corsi d'acqua; quello artificiale è legato all'estrazione intensiva dell'acqua di falda per mezzo dei pozzi. Nell'acquifero si hanno scambi idrici per cause naturali e artificiali. I fiumi giocano un ruolo significativo; in particolare l'Ombrone presenta un efficiente interscambio idrico almeno fino a Grosseto, di entità e verso variabili in funzione delle stagioni e degli emungimenti.

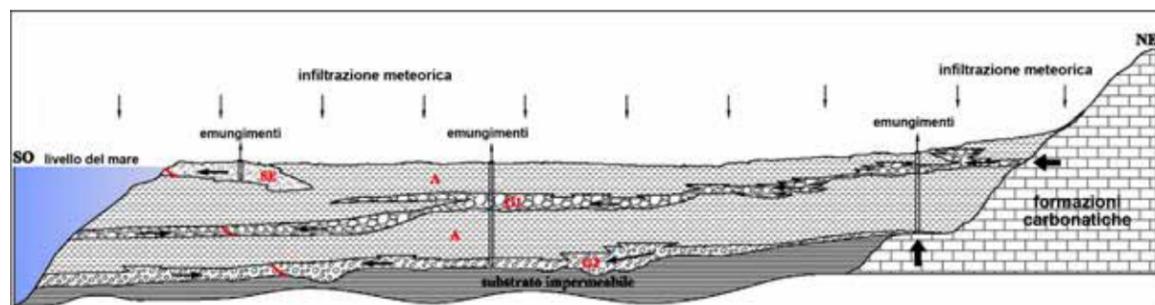


Fig. 12 – Schema concettuale del sistema acquifero multifalda ospitato nei sedimenti recenti della pianura di Grosseto (Aldinucci *et al.*, 2012): SE = sabbie costiere (acquifero dunale); A = argille limoso-sabbiose (acquitardo); G1 = ghiaie e sabbie (livello acquifero intermedio); G2 = ghiaie e sabbie (livello acquifero inferiore). La scala delle altezze è 30 volte quella delle lunghezze.

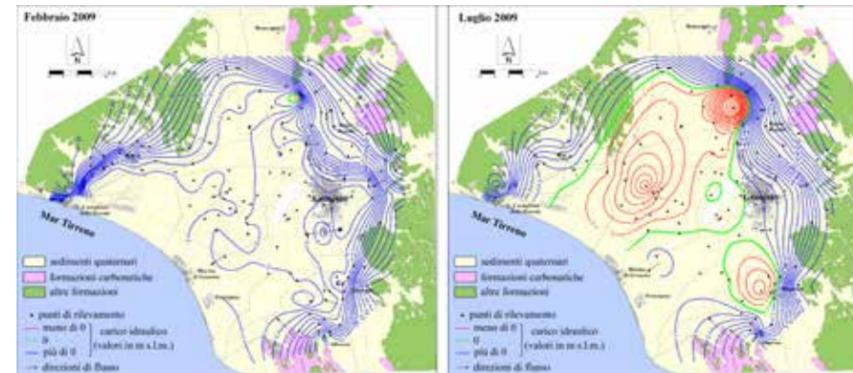


Fig. 13 – Carte delle isopiezometriche di falda (Aldinucci *et al.*, 2012).

DISTRIBUZIONE DEL CARICO IDRAULICO

I dati raccolti mettono in evidenza che nel complesso la falda si trova in condizioni confinate per l'ampia diffusione di coperture e/o intercalazioni impermeabili e che la morfologia della superficie piezometrica si presenta articolata e con discrete variazioni a causa della diversa intensità dei prelievi e della ricarica. La figura 13 mostra il pesante condizionamento operato dagli emungimenti primaverili ed estivi sullo spostamento delle acque sotterranee, con la formazione di un'estesa depressione piezometrica sostanzialmente coincidente con la media e la bassa pianura; i pozzi a piezometria negativa passano infatti dall'unico di febbraio ai 37 di luglio, con valori solitamente compresi nel range 1-4 m al di sotto del livello medio del mare. I livelli più alti si rilevano nei pressi dei rilievi che circondano la pianura, con valori sui 5-10 m s.l.m. a Castiglione della Pescaia ed Alberese e 20-30 m s.l.m. a Bagno Roselle. Le depressioni piezometriche più consistenti, ubicate a nord ed a ovest di Grosseto, sono caratterizzate da valori ben al di sotto del livello del mare (compresi tra -11 e -36 m s.l.m.); una minore depressione è presente a nord dell'Alberese, con valori minimi intorno ai -10 m s.l.m.

Il movimento generale del flusso idrico avviene sempre verso il settore centrale della zona esaminata; le varie direzioni di flusso si originano nei rilievi circostanti la pianura, che alimentano quindi il sistema acquifero con maggiore apporto nelle zone di sbocco dei torrenti, e poi convergono

no dirigendosi verso il mare. L'elevato gradiente idraulico presente ai limiti della pianura (2-10 ‰) è dovuto sostanzialmente alla considerevole diminuzione di permeabilità al passaggio ammassi litoidi-sedimenti quaternari, nonché alla significativa alimentazione proveniente dai rilievi in cui affiorano le formazioni carbonatiche; nel settore centrale, invece, la falda ha un gradiente piuttosto basso (< 1 ‰) che è indicativo di una conducibilità idraulica complessivamente elevata.

La variazione piezometrica tra i livelli massimi e minimi del periodo di osservazione, che scaturisce dal saldo tra i quantitativi idrici in uscita e quelli in entrata nell'acquifero, è risultata mediamente intorno ai 4 m; nel settore centrale della pianura e tra Alberese e S. Maria di Rispeccia sono stati registrati massimi di 10-20 m, mentre a nord di Grosseto questi sono risultati addirittura superiori ai 40 m. Riguardo ai quantitativi idrici in entrata, si rileva che il confronto tra le precipitazioni medie annue del trentennio 1979-2008 (633 mm) e quelle del periodo 2008-2009 (1042 mm, con un aumento del 65%) evidenzia come l'abbassamento della piezometria non possa certo imputarsi alla generale riduzione della ricarica meteorica; in sostanza, la riduzione del carico idraulico tra febbraio e luglio appare semplicemente la conseguenza degli emungimenti primaverili ed estivi di acqua sotterranea effettuati per vari usi, ma soprattutto per quelli agricoli e turistici. Il contributo dell'Ombrone può manifestarsi sostanzialmente fino a Grosseto; nel tratto restante, le sue connessioni con i livelli produttivi diventano sporadiche in corrispondenza di

falde superficiali. Ciò si verifica probabilmente anche per il Bruna, ma solo nella parte più alta della pianura, dato che nella zona studiata assume le caratteristiche di un corso d'acqua sospeso.

QUALITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

Anche le acque sotterranee della pianura di Grosseto sono caratterizzate dalla coesistenza delle principali facies idrochimiche e da locali fenomeni di compensazione della variabilità chimica attivati dall'interazione acqua/matrice (Fig. 14).

La facies SO_4 -Ca occupa gran parte della pianura riscontrandosi in tutta la zona a nord e ad ovest di Grosseto e, più a sud, nei dintorni di Principina a Mare ed Alberese. L'origine di queste acque è da collegare principalmente ad un sistema di flusso regionale profondo contenuto in prevalenza nelle unità evaporitico-carbonatiche di età triassica (Formazione anidritica di Burano e Formazione del Calcarea cavernoso), talvolta con caratteristiche termali, che dai limiti settentrionali della pianura si dirige verso la costa con direzione generale nord-sud e poi NE-SO; con probabilità tale circuito riceve contributi idrici dai sistemi di flusso più superficiali e rapidi contenuti nelle rocce carbonatiche delle zone di Bagno Roselle ed Alberese. Un significativo apporto di acque solfato-calciche

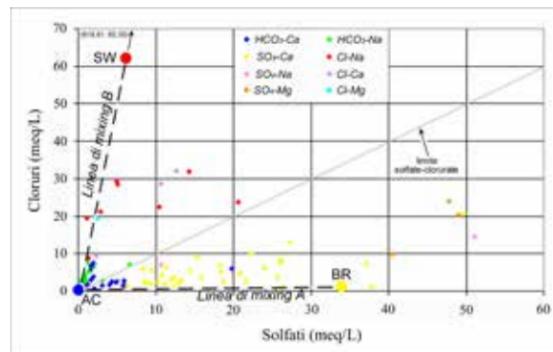


Fig. 14 – Diagramma di correlazione Cl vs SO_4 dei campioni d'acqua di falda (Aldinucci et al., 2012): valori di febbraio e luglio 2009. Il diagramma riporta anche il chimismo della sorgente termominerale di Bagno Roselle (BR), del mare (SW) e di una tipica acqua continentale di circolazione recente e superficiale alimentata dalla ricarica meteorica (AC).

è riscontrabile nell'alto bacino del Bruna, dove gli affluenti in sinistra orografica attraversano le solite formazioni evaporitico-carbonatiche e ricevono gli scoli di varie gallerie minerarie. Anche le acque dell'Ombrone mostrano una facies solfato-calcica nel periodo estivo, la quale diventa bicarbonato-calcica nei periodi di maggiore piovosità.

La facies HCO_3 -Ca è connessa ad una circolazione recente e relativamente superficiale di ricarica meteorica (fanno eccezione i settori a NE e a sud nei quali è probabile un mescolamento con acque termali); essa è tipica dei rilievi che circondano la pianura, nei quali affiorano in prevalenza la Formazione del Macigno ed in minor misura il Gruppo del Verrucano, la Formazione del Calcarea Massiccio e quella del Calcarea cavernoso.

La facies Cl-Na è stata riscontrata nella zona di Castiglione della Pescaia per la probabile presenza di fenomeni di ingressione marina lungo il Bruna; essa è stata rilevata anche più a NE, dove è da collegarsi verosimilmente al richiamo in superficie di acque profonde salmastre o saline generato dai locali forti emungimenti.

Il diagramma della figura 14 evidenzia che la linea di *mixing A*, riguardante la miscelazione delle acque continentali recenti con quelle di circolazione regionale, spiega la formazione delle facies HCO_3 -Ca e SO_4 -Ca; la linea di *mixing B* coinvolge invece le acque di composizione HCO_3 -Ca e Cl-Na di origine marina, in zone in cui l'intrusione salina gioca un ruolo importante (Castiglione della Pescaia e settore meridionale della pianura). Il diagramma consente anche di individuare un gruppo di acque Cl-Na, disposte in posizione intermedia tra le due linee di *mixing*, le quali possono interpretarsi come una miscela tra acque solfato-calciche di circolazione regionale ed acque clorurato-alcaline di probabile origine marina; ciò spiega anche la formazione di acque con facies SO_4 -Na e Cl-Ca per le quali intervengono anche reazioni di scambio ionico.

La distribuzione del tenore in cloruri (Fig. 15) mostra valori superiori a 500 mg/L in prossimità dei fiumi Ombrone e Bruna (dovuti all'intrusione

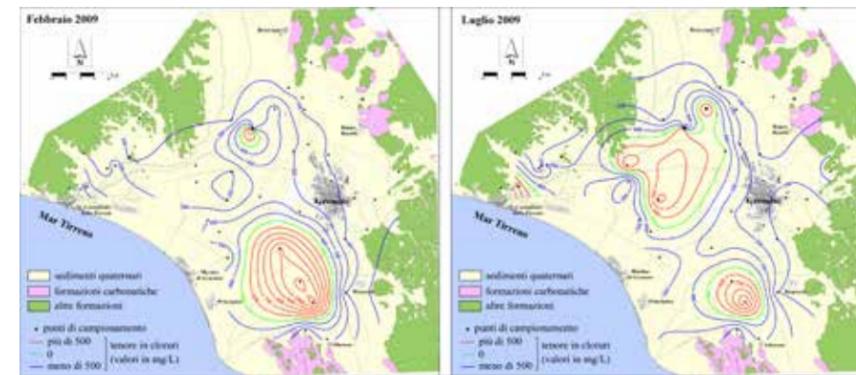


Fig. 15 – Carte del tenore in cloruri nell'acqua di falda (Aldinucci et al., 2012).

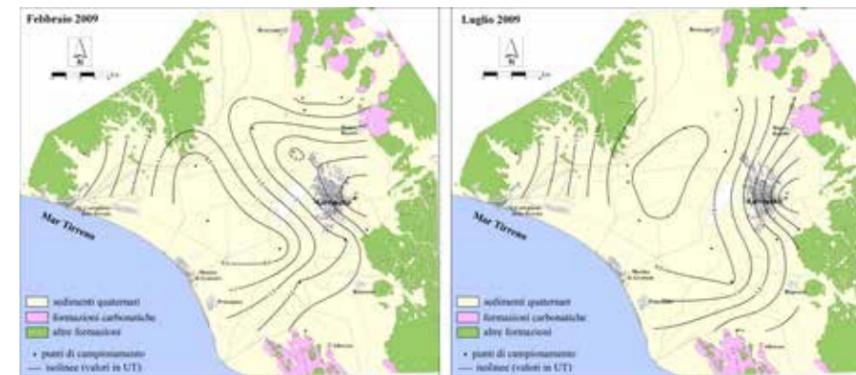


Fig. 16 – Carte del tenore in trizio nell'acqua di falda (Aldinucci et al., 2012).

salina favorita dalla risalita di acque marine lungo gli alvei), nonché nel centro della pianura (dovuti ai forti emungimenti che richiamano acque profonde salmastre o saline); il valore medio globale è di 260 mg/L (14 % della salinità totale).

La figura 16 mette in evidenza il calo del tenore in trizio (e quindi l'aumento del tempo di residenza medio dell'acqua sotterranea) lungo il movimento generale del flusso idrico dalle zone di ricarica a quelle di recapito (dai rilievi verso la costa), che è coerente con la distribuzione del carico idraulico e dei rapporti ionici. Il settore centrale della pianura, caratterizzato da acque di falda aventi sempre tenori molto bassi in trizio, rappresenta quindi il luogo d'incontro tra acque di origine continentale e marina aventi lunghi tempi di residenza nel sottosuolo.

In definitiva, oltre ad abbassare in modo significativo la superficie piezometrica, i forti emungimenti primaverili ed estivi provocano modificazioni sostanziali dei caratteri fisico-chimici dell'acqua sotterranea che possono sintetizzarsi in variazioni

di salinità per il maggior richiamo di acque di varia provenienza (continentale o marina) e tipologia (solfata, clorurata o bicarbonata); tale sfruttamento comporta pure un invecchiamento dell'età media dell'acqua per il maggior richiamo di acque profonde, di origine continentale nei settori centrale e periferico della pianura e di origine marina nel settore più vicino alla costa.

Settore settentrionale (Pianura di Follonica)

GEOMETRIA E STRUTTURA DELL'ACQUIFERO

Nei depositi miocenici e quaternari la pianura di Follonica presenta un sistema acquifero multifalda costituito da più livelli sabbioso-ghiaiosi, solitamente separati da sedimenti argillosi con percentuali variabili di limi e/o sabbie (Fig. 17). Tali livelli mostrano,

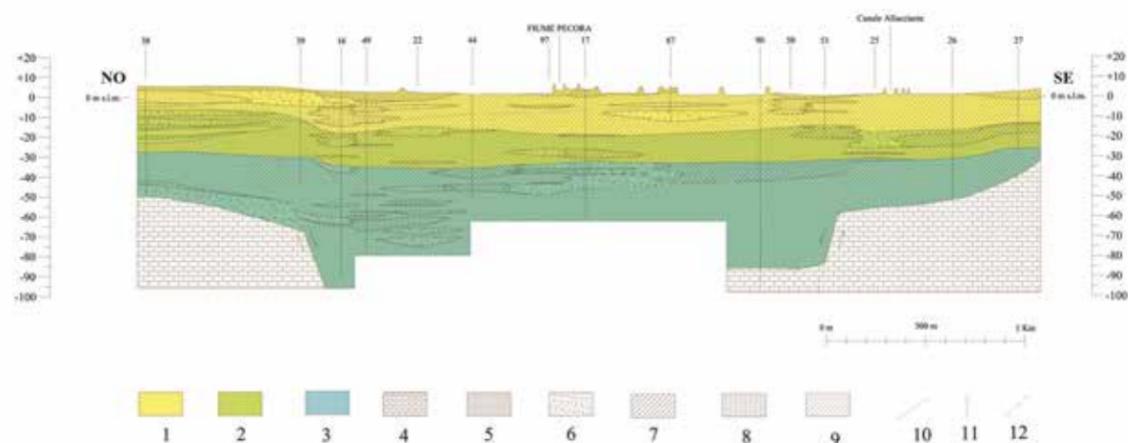


Fig. 17 – Sezione schematica del sistema acquifero multifalda ospitato nei sedimenti miocenici e quaternari della pianura di Follonica (Barazzuoli et al., 2006, modificata): 1) Olocene; 2) Pleistocene sup.; 3) Tortonian sup.-Messiniano sup.; 4) substrato preneogenico; 5) depositi superficiali di varia natura (suoli, detriti, ecc.); 6) sabbie e ghiaie pulite; 7) sabbie e ghiaie in matrice argilloso-limoso; 8) litologie prevalentemente limose; 9) litologie prevalentemente argillose; 10) faglie; 11) litostratigrafie, con relativo numero d'ordine; 12) traccia della superficie piezometrica del gennaio 2001.

in genere, un aspetto lentiforme all'interno di una predominante litologia argillosa; meno frequentemente, invece, sono dotati di elevata continuità e discreto spessore. Gli strati permeabili olocenici si presentano spesso con andamento lenticolare e spessori medi di 2-4 m (quelli massimi, di 6-8 m, si rinvennero nel settore centrale della pianura). Nei depositi pleistocenici, in prevalenza costituiti dalle Sabbie rosso-arancio di Donoratico (e sedimenti associati), sono localmente individuabili tre intercalazioni di sabbie ghiaiose (la natura dei ciottoli è arenacea), riconducibili ai cicli regressivi intra-tirreniani; i relativi orizzonti produttivi hanno potenze medie di 7-9 m e assumono gli spessori maggiori (fino a 25 m) nella fascia orientata NE-SO tra Follonica e la S.S. Aurelia. In quelli miocenici (di tipo lacustre, marino e di lago-mare) i livelli permeabili sono litologicamente simili ai precedenti, sia per andamento che per potenza media (nel settore a ENE di Follonica essi presentano spessori che superano i 20 m). Gli orizzonti produttivi tendono ad approfondirsi verso la costa; nella zona settentrionale, infatti, si ritrovano a profondità comprese tra i 20 ed i 30 m, mentre in quella centro-meridionale si incontrano a profondità di 40-50 m ed anche maggiori (come in località Salciaina).

Il complesso acquifero poggia su un substrato pre-neogenico di bassa permeabilità (in son-

daggio, alla profondità massima di circa 180 m, è stata individuata la formazione delle Argille a Palombini). Tale substrato, insieme ai sedimenti miocenici, è dislocato da faglie di interesse idrogeologico in quanto potenziali vie di risalita di fluidi profondi con fenomeni di intrusione.

DISTRIBUZIONE DEL CARICO IDRAULICO

Nell'insieme la falda è in condizioni confinate per l'ampia diffusione di coperture e/o intercalazioni impermeabili; inoltre, la superficie piezometrica risulta morfologicamente articolata e con discrete variazioni a causa della diversa intensità dei prelievi e della ricarica. La figura 18 mostra un'ampia area a piezometria negativa nella quale ricadono le principali opere di captazione. I livelli maggiori si riscontrano nei settori NO e NE, con valori di 4-6 m s.l.m. d'estate e 10-15 m s.l.m. d'inverno. La più accentuata depressione piezometrica, ubicata a NE di Follonica, è caratterizzata da valori ben al di sotto del livello medio del mare anche d'inverno (fino ai -27 ed ai -21 m s.l.m., rispettivamente a settembre e gennaio). La presenza di 13 pozzi, sui 35 monitorati, in cui il livello piezometrico rimane negativo sottolinea lo sfruttamento eccessivo della falda ed il manca-

to recupero dei suoi carichi idraulici naturali nel periodo invernale; la persistenza nell'anno, pur con diversa intensità, di quote piezometriche al di sotto del livello del mare comporta la stabile riduzione del carico idraulico, la quale favorisce l'avanzamento nell'entroterra dell'intrusione marina ed il richiamo di acque fossili e/o profonde. Il movimento dell'acqua sotterranea avviene quindi sempre in prevalenza verso il settore centrale della zona esaminata; le varie direzioni di flusso si originano nei rilievi circostanti e convergono verso il settore di maggiore captazione con un gradiente medio pari al 20 e 5 ‰, rispettivamente da NO e NE.

L'innalzamento piezometrico tra i livelli minimi e quelli massimi (mediamente pari a 7 m nel periodo di osservazione) è generato dalla combinazione dei quantitativi idrici in uscita ed in entrata nell'acquifero. Riguardo a questi ultimi, il confronto tra le precipitazioni medie annue del trentennio 1967-1996 (655 mm) e quelle del periodo 2000-2001 (528 mm, con un calo del 19 %) suggerisce che l'abbassamento della piezometria possa anche imputarsi alla generale riduzione della ricarica meteorica. Il contributo del F. Pecora, comunque scarso visto il relativo regime idrologico, può manifestarsi essenzialmente nella parte più alta della pianura dove l'alveo è impostato su sedimenti di permeabilità medio-alta in probabile continuità con gli orizzonti produttivi; nella zona studiata, il fiume scorre in prevalenza su una spessa coltre di sedimenti praticamente impermeabili, assumendo quindi le caratteristiche di un corso d'acqua sospeso sopra il complesso acquifero (ciò

vale anche per il Canale Allacciante). Anche la presenza di faglie nel substrato pre-neogenico e nei sedimenti miocenici può favorire l'intrusione di fluidi profondi nell'acquifero.

QUALITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

La pianura di Follonica è anch'essa caratterizzata dalla coesistenza delle principali facies idrochimiche (Fig. 19) e da locali fenomeni di compensazione della variabilità chimica connessi all'interazione acqua/matrice.

La facies SO_4-Ca è da associare al flusso di falda da NE che appare alimentato dall'infiltrazione meteorica, dalla filtrazione delle acque fluviali nella parte più alta della pianura e da probabili intrusioni saline di origine profonda. È infatti da sottolineare che la pianura è circondata da rilievi caratterizzati dalla circolazione di acque solfate nelle formazioni liguri e toscane (Avio et al., 1995; Garzonio & Affuso, 2004) che costituiscono il substrato dell'acquifero; esso è dislocato da faglie che interessano anche l'orizzonte produttivo miocenico, facilitando l'intrusione di fluidi profondi soprattutto nei periodi di basso piezometrico. Questa situazione potrebbe essere testimoniata dal pozzo 79, uno dei più a monte nel senso del flusso di falda, le cui acque presentano l'inversione della dominanza cationica tra Mg e Na ed una temperatura di 28 °C a settembre 2000 quando la zero piezometrica arriva fino a questo punto dell'entroterra.

La facies HCO_3-Ca è principalmente da collegare al flusso di falda da NO che appare alimentato essenzialmente dall'infiltrazione nei locali

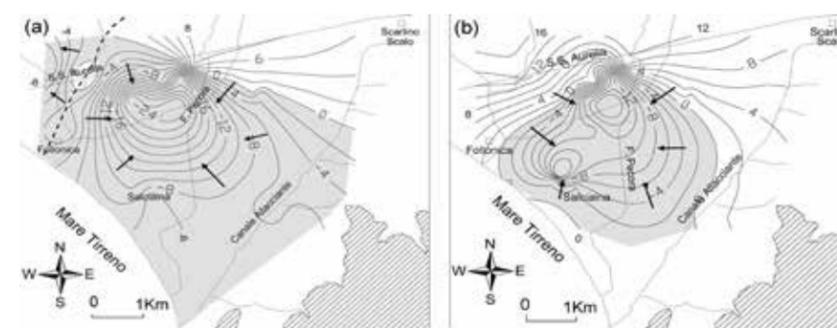


Fig. 18 – Carte delle isopiezometriche di falda (Barazzuoli et al., 2006): a) settembre 2000; b) gennaio 2001 (valori espressi in metri s.l.m.). Le frecce indicano le principali direzioni di flusso, mentre il grisèe identifica le zone a piezometria negativa. La linea tratteggiata rappresenta uno spartiacque idrogeologico; il tratteggio a righe oblique individua l'affioramento del substrato pre-neogenico.

sedimenti di permeabilità medio-alta. Ricade in questa tipologia anche il pozzo 13 le cui acque differiscono dalle precedenti per l'inversione della dominanza cationica tra Ca e Na in concomitanza della stabilità del tenore in Cl, che potrebbe essere interpretata come il risultato di un processo di scambio ionico diretto su acque bicarbonate in un acquifero caratterizzato dalla relativa abbondanza della frazione argillosa. Il pozzo 82 presenta acque che potrebbero rappresentare il miscelamento tra l'infiltrazione negli adiacenti sedimenti di conoide ed un flusso laterale solfatico dai rilievi di Scarlino-Gavorrano.

La facies Cl-Na è infine da associare all'avanzamento nell'entroterra dell'intrusione marina causato dall'ampia depressione piezometrica centrale. Ricade in questa tipologia pure il pozzo 23 le cui acque differiscono dalle precedenti per l'inversione della dominanza cationica tra Na e Ca in concomitanza della sostanziale stabilità del tenore in SO₄, che potrebbe essere interpretata come il risultato di un processo di scambio ionico inverso su acque clorurate di origine marina. È da rilevare che questa facies occupa all'incirca la zona interessata stabilmente da piezometrie negative, concentrazioni di cloruri maggiori di 300 mg/L e temperature superiori a 16 °C.

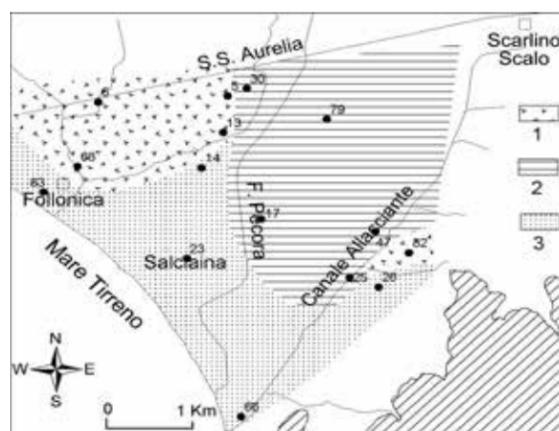


Fig. 19 – Zonazione idrochimica individuata nelle acque di falda sulla base dei risultati analitici medi 1993-2001 relativi agli ioni maggiori (Barazzuoli et al., 2006): 1) facies bicarbonata; 2) facies solfata; 3) facies clorurata. La figura riporta anche l'ubicazione dei pozzi campionati, con relativo numero d'ordine; il tratteggio a righe oblique individua l'affioramento del substrato preneogenico.

In definitiva, l'analisi complessiva suggerisce che lo sfruttamento eccessivo e relativamente concentrato della falda non solo ha provocato l'avanzamento dell'intrusione marina nella pianura, ma ha favorito anche la risalita di fluidi caldi paleo-salini contenuti nelle parti più basse dell'acquifero e/o di provenienza profonda lungo faglie o fratture. Il progressivo degrado qualitativo della falda è ben evidenziato dall'evoluzione del tenore in cloruri rilevata in alcuni pozzi (Fig. 20); si può infatti osservare che, negli ultimi decenni, i cloruri sono aumentati di circa quattro volte nella località Salciaina (da 450 mg/L ad un massimo di oltre 1800 mg/L), mentre sono rimasti sostanzialmente stabili negli altri settori con valori oscillanti nel range 70-170 mg/L per le alterne condizioni di sfruttamento e ricarica meteorica. Questa evoluzione dei cloruri ha pure provocato il notevole aumento della concentrazione di mercurio (Agati et al., 2001; Grassi & Netti, 2000), naturalmente presente nei locali affioramenti rocciosi e depositi alluvionali (Protano et al., 1999).

Conclusioni

L'incremento degli insediamenti umani lungo le coste maremmane, unito allo sviluppo delle attività agricole, industriali e turistiche, ha causato un eccessivo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee. Ciò ha provocato un movimento più o meno permanente d'acqua marina verso l'entroterra, con il conseguente spostamento dell'acqua dolce ed il deterioramento della qualità chimica della falda. Da rilevare, comunque, che l'intrusione marina è un processo lento e può passare molto tempo prima che nei pozzi sia notato un aumento sensibile della concentrazione salina.

Nel contesto di uno sviluppo sostenibile delle risorse idriche nelle aree costiere (FAO, 1997) sono da considerarsi obiettivi prioritari la scelta di indicatori in grado di rivelare in tempo il processo per invertire la tendenza, l'elaborazione di tecniche di monitoraggio-prevenzione e la ricerca di strategie di gestione più idonee al controllo dell'intrusione stessa. Le indagini, eseguite a vario livello di ap-

profondimento, hanno permesso di definire per le aree costiere maremmane modelli concettuali degli acquiferi che rappresentano la base per l'elaborazione di modelli numerici di simulazione idrodinamica e idrochimica. Tramite questi ultimi è stato poi possibile ottenere informazioni sull'evoluzione generale dei sistemi sotto differenti condizioni di sollecitazione. In particolare, essi sono stati impiegati per testare l'efficacia di variazioni del quantitativo idrico emunto e/o della posizione dei pozzi per la riduzione dell'intrusione marina. Sono stati anche valutati interventi atti a contrastare l'avanzamento dell'intrusione, la cui reale efficacia necessita di copertura del deficit di bilancio che ha causato il degrado qualitativo della falda. L'unica soluzione ragionevole e praticabile al problema sembra essere quindi una gestione ac-

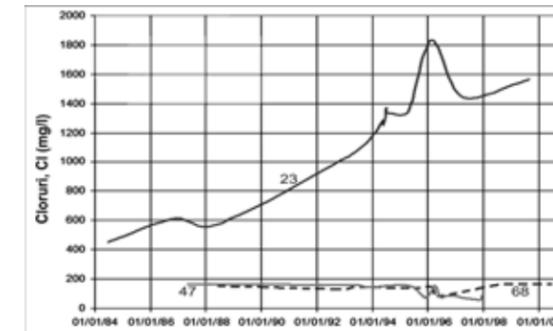


Fig. 20 – Evoluzione temporale della concentrazione di cloruri rilevata in alcuni pozzi della pianura di Follonica nel periodo 1984-2000 (Barazzuoli et al., 2006): 23 = facies clorurata; 47 = facies solfata; 68 = facies bicarbonata.

curata e responsabile delle risorse idriche superficiali e sotterranee, considerando quantità e qualità dell'acqua per i vari usi.

Ringraziamenti - L'articolo riguarda indagini, effettuate nell'arco di 20 anni attraverso tesi di laurea e di dottorato di ricerca, convenzioni con Enti pubblici e privati e lavori a carattere scientifico, che sono state in parte finanziate dall'ARSIA (Regione Toscana) e dall'Amministrazione Provinciale di Grosseto. Un ringraziamento particolare è da riservare alle Dott.sse Monica Leonini, Maria Rita Marchetti e Monica Nocchi (allieve e compagne di numerose campagne di rilevamento e riflessioni idrogeologiche), al Dott. Geol. Stefano Bianchi (Giano Ambiente s.r.l.) ed al Dott. Geol. Simone Rossi (Regione Toscana - Genio Civile Toscana Sud) per la collaborazione prestata durante varie fasi del programma di ricerca.

Testi citati

Agati L., Barbieri M., Bazzoli P., Dall'Aglio M., Mantelli F., Palmieri R. & Venanzi G. (2001) - *Drinking water quality in the Grosseto Province, Tuscany, Italy. An appraisal on the basis of the study of water rock interaction*. Proceedings of the Water Rock Interaction (WRI-10) International Congress, Cagliari, June 2001, 2: 1059-1062.

Aldinucci M., Leonini M., Marchetti M.R., Nocchi M. & Salleolini M. (2012) - *Idrogeologia del sistema acquifero multifalda della pianura di Grosseto (Toscana meridionale)*. Engineering-Hydro-Environmental Geology, 15: 61-81.

Angelini A., Barazzuoli P., Cucini S., Mocenni B., Renai I., Rigati R. & Salleolini M. (2000) - *Idrogeologia della bassa valle dei fiumi Osa e Albegna (Toscana meridionale)*. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed., Bologna, 7 (3): 5-21.

Avio C.M., Bianchi S. & Marchetti M. (1995) - *Prima valutazione del chimismo delle acque della pianura di Follonica e di Scarlino e dei rilievi contermini (Provincia di Grosseto)*. Geologia Tecnica and Ambientale, 3/1995: 45-56.

Barazzuoli P., Guasparri G. & Salleolini M. (1993) - *Il clima*. In: "La storia naturale della Toscana meridionale", Pizzi Ed., Milano, 140-171.

Barazzuoli P., Mocenni B., Rigati R. & Salleolini M. (2003) - *L'influenza della variabilità climatica sulle risorse idriche rinnovabili della Toscana meridionale*. Atti del I Congresso Nazionale A.I.G.A., Chieti, 19-20 febbraio 2003, Rendina Ed., Roma, 55-68.

Barazzuoli P., Mocenni B., Nocchi M., Rigati R. & Salleolini M. (2004) - *Risorse idriche nella Toscana meridionale*. Etruria-Natura, 4: 41-54.

Barazzuoli P., Bianchi S., Nocchi M., Rigati R. & Salleolini M. (2006) - *Studio idrogeologico della pianura costiera di Follonica-Scarlino (Toscana meridionale)*. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed., Bologna, 13(1-2): 19-34.

Barazzuoli P., Nocchi M., Rigati R. & Salleolini M. (2008) - *A conceptual and numerical model for groundwater management: a case study on a coastal aquifer in southern Tuscany*. Hydrogeology Journal, 16(8): 1557-1576.

Barrocu G. (2003) - *Seawater intrusion in coastal aquifers of Italy*. In: J.A. Lopez-Geta, J. De D. Gomez, J.A. De La Or-

den, G. Ramos, L. Rodriguez (Eds) "Coastal Aquifers Intrusion Technology: Mediterranean Countries", Madrid, 2: 207-223.

Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. & Palutikof J.P. (Ed.) (2008) - *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 2008, 210 pp.

Bear J. (2004) - *Management of a coastal aquifer*. Ground Water, 42(3): 317.

Bear J., Cheng A.H.D., Sorek S., Ouazar D. & Herrera I. (Ed.) (1999) - *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers - Concepts, Methods and Practices*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 625 pp.

Bencini A. & Pranzini G. (1996) - *Groundwater salinization in Southern Tuscany (Italy)*. Proceedings of the 14th Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala, Report n. 87, Geological Survey of Sweden, 261-270.

Bencini A., Gimenez Forcada G. & Pranzini G. (2001) - *Salinization in coastal plain of Grosseto: hydrochemical study*. Proceedings of the Water Rock Interaction (WRI-10) International Congress, Cagliari, June 2001, 517-520.

Bianchi S., Nocchi M. & Salleolini M. (2011) - *Hydrogeological investigations in southern Tuscany (Italy) for coastal aquifer management*. AQUAmundi, Scribo s.r.l. (Firenze), 2(1): 53-70.

Capaccioni B., Didero M., Paletta C. & Didero L. (2004) - *Saline intrusion and refreshing in a multilayer coastal aquifer in the Catania Plain (Sicily, Southern Italy): dynamics of degradation processes according to the hydrochemical characteristics of groundwaters*. Journal of Hydrology, 307: 1-16.

Cheng A.H.D. & Ouazar D. (2004) - *Preface*. In: Cheng A.H.D., Ouazar D. (Ed.) "Coastal Aquifer Management: monitoring, modeling, and case studies", Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Dam J.C. van (1999) - *Exploitation, restoration and management*. In: Bear J., Cheng A.H.D., Sorek S., Ouazar D., Herrera I. (Ed.) "Seawater Intrusion in Coastal Aquifers - Concepts, Methods, and Practices", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 73-125.

Emch P.G. & Yeh W.W.G. (1998) - *Management model for conjunctive use of coastal surface water and groundwater*. Journal of Water Resources Planning and Management, 124(3): 129-139.

FAO (1997) - *Seawater intrusion in coastal aquifers: guidelines for study, monitoring and control*. Water Reports, 11, 149 pp.

Faye S., Maloszewski P., Stichler W., Trumborn P., Faye S.C. & Gaye C.B. (2005) - *Groundwater salinization in the Saloum (Senegal) delta aquifer: minor elements and isotopic indicators*. Science of the Total Environment, 343: 243-259.

Garzonio C.A. & Affuso A.M.G. (2004) - *Hydrogeological problems for the rehabilitation and re-utilisation of the water resources of the mining area of Gavorrano (Italy)*. Environmental Geology, 46 (2): 286-294.

Grassi S. & Netti R. (2000) - *Sea water intrusion and mercury pollution of some coastal aquifers in the province of Grosseto (Southern Tuscany, Italy)*. Journal of Hydrology, 237: 198-211.

Kacimov A.R., Sherif M.M., Perret J.S. & Al-Mushikhi A. (2009) - *Control of sea-water intrusion by salt-water pumping: Coast of Oman*. Hydrogeology Journal, 17(3): 541-558.

Kim Y., Lee K.S., Koh D.C., Lee D.H., Lee S.G., Park W.B., Koh G.W. & Woo N.C. (2003) - *Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island*. Journal of Hydrology, 270: 282-294.

Maimone M., Harley B., Fitzgerald R., Moe H., Hossain R. & Heywood B. (2004) - *Coastal aquifer planning elements*. In: Cheng A.H.D., Ouazar D. (Ed.) "Coastal Aquifer Management: monitoring, modeling, and case studies", Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 1-27.

Nocchi M. & Salleolini M. (2013) - *A 3D density-dependent model for assessment and optimization of water management policy in a coastal carbonate aquifer exploited for water supply and fish farming*. Journal of Hydrology, 492: 200-218.

Pool M. & Carrera J. (2010) - *Dynamics of negative hydraulic barriers to prevent seawater intrusion*. Hydrogeology Journal, 18: 95-105.

Protano G., Riccobono F. & Sabatini G. (1999) - *La cartografia geochimica della Toscana meridionale. Criteri di realizzazione e rilevanza ambientale attraverso gli esempi di Hg, As, Sb, Pb, e Cd*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., vol. LV, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

Protano G., Riccobono F. & Sabatini G. (2000) - *Does salt water intrusion constitute a mercury contamination risk for coastal fresh water aquifers?* Environmental Pollution, 110 (3): 451-458.

Regione Toscana - Consiglio Regionale (2005) - *Approvazione del piano di tutela delle acque - Articolo 44 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 (Disposizioni sulla tutela delle acque all'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole)*. Deliberazione n. 6 del 25 gennaio 2005, Supplemento al Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 9 del 2/3/2005.

Regione Toscana - Giunta Regionale (2003) - *Acquisizione del quadro conoscitivo relativo alla qualità delle acque superficiali ed a specifica destinazione, ai sensi del D.Lgs. 152/99 e successive modificazioni. Attuazione della delibera di Giunta Regionale n. 101/2003 (Direttive all'A.R.P.A.T. per l'attività negli anni 2003-04-05)*. Deliberazione n. 225 del 10 marzo 2003, Supplemento al Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 14 del 2/4/2003.

Regione Toscana - Giunta Regionale (2009) - *Individuazione e caratterizzazione dei corpi idrici della Toscana - Attuazione delle disposizioni di cui all'art.2 del DM 131/08 (acque superficiali) e degli art. 1, 3 e all. 1 del D.Lgs. 30/09 (acque sotterranee)*. Deliberazione n. 939 del 26 ottobre 2009, Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 44 del 4/11/2009.

Sherif M.M. & Hamza H.I. (2001) - *Mitigation of seawater intrusion by pumping brackish water*. Trans Porous Media 43: 29-44.

Thorntwaite C. W. (1948) - *An approach toward a rational classification of climate*. Geograph. Review, 38: 55-94.

Orizzonti



Falco di palude: *Circus aeruginosus* (Linnaeus, 1758)
Foto di Giovanni Bencini

Sul Diluvio Universale

Roberto Mazzei

Già docente presso l'Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Laterina 8, 53100 Siena.
rbmazzei@gmail.com

Introduzione

“E avvenne, al settimo giorno, che le acque del diluvio furono sopra la terra; nell'anno seicentesimo della vita di Noè, nel secondo mese, nel diciassettesimo giorno del mese, proprio in quel giorno, eruppero tutte le sorgenti del grande oceano e le cataratte del cielo si aprirono. E la pioggia fu sulla terra per quaranta giorni e quaranta notti” (Genesi 7, 10-12) ...”le acque ingrossarono e sollevarono l'arca che si alzò sopra la terra; e le acque divennero poderose e ingrossarono assai sopra la terra e l'arca galleggiava sulla superficie delle acque. E le acque divennero sempre più poderose sopra la terra e copersero tutti i più alti monti che sono sotto tutto il cielo. Di quindici cubiti di altezza le acque divennero poderose e copersero i monti. E per ogni carne strisciante sulla terra” (Genesi 7, 17-21) ...”Le fonti dell'abisso e le cataratte del cielo furono chiuse, e la pioggia cessò di cadere dal cielo; le acque andarono gradatamente ritirandosi dalla terra e cessarono le acque in capo a centocinquanta giorni. Nel settimo mese, il diciassette del mese, l'arca si fermò sui monti dell'Ararat. Le acque andarono via via diminuendo fino al decimo mese” (Genesi 8, 2-5) ...”Fu nell'anno seicentouno della vita di Noè, nel primo mese, nel primo giorno del mese, che le acque s'erano prosciugate sopra la terra ...” (Genesi 8, 13).

Questi passi significativi del primo dei 66 libri che compongono la Bibbia ci introducono all'interno di un diluvio (Fig. 1), che punisce gli uomini malvagi¹, in cui sono sottolineate caratteristiche

(“eruppero tutte le sorgenti del grande oceano e le cataratte del cielo si aprirono”), consistenza (“Di quindici cubiti di altezza le acque divennero poderose e copersero i monti”) e durata (“la pioggia fu sulla terra per quaranta giorni e quaranta notti”). Certamente, però, da essi non traspare il luogo né tantomeno il periodo in cui tale diluvio si è verificato; è ovvio, tuttavia, che per essere conosciuto e tramandato deve essersi originato in un'area e in un contesto storico-culturale accessibile al mondo ebraico.

Per molto tempo si è pensato alla Bassa Mesopotamia (Fig. 2), come area dell'evento biblico, almeno per due motivi: a) la storia del popolo ebraico nasce con Abramo, un “arameo errante” che parte con la famiglia (“Poi Terach prese Abram, suo figlio, Isca, suo nipote, Lot figlio di Aran e Sarai sua nuora, moglie di suo figlio Abram,...” Genesi 11, 31) dalla città di Ur dei Caldei alla volta della terra di Canaan (Fig. 3). Dopo essersi fermati a Carran (Harran), dove peraltro muore Terach, con la moglie, il nipote Lot e la servitù Abramo riprende il viaggio verso la “terra promessa” da Dio (“Vattene dalla tua terra, dalla tua parentela e dalla casa di tuo padre, verso la terra che io ti mostrerò, cosicché faccia di te una grande nazione e ti benedica e faccia grande il tuo nome, e tu possa essere una benedizione. Benedirò coloro che ti benediranno e maledirò chi ti maledirà, e in te acquisteranno benedizione tutte le tribù della terra.” Genesi



Fig. 1 - Il Diluvio Universale come raffigurato dal fiammingo Bonaventura Peeters il Vecchio (1614-1652).



Fig. 2 - La Mesopotamia, terra tra due fiumi, nel 4° millennio a.C.

12, 1-3), raggiungendola intorno al 1800 a.C.; b) durante il periodo proto-dinastico dei Sumeri (tra 2.900 e 2.350 anni a.C.) e quindi prima della partenza di Abramo da Ur, diverse sono le inondazioni catastrofiche del Tigri e dell'Eufrate (quella di Shuruppak è, forse, la più grande) alle quali le tribù nomadi, che hanno dato origine agli Ebrei (popolo d'oltre fiume), hanno assistito direttamente o hanno partecipato attraverso la tradizione.

Poi questa interpretazione è stata ritenuta poco probabile dagli studiosi principalmente perché un'alluvione, pur significativa, ha sempre un carattere improvviso e circoscritto, mentre secondo la Bibbia Noè (figlio di Lamech, a sua volta fi-

glio di Matusalemme e su su fino a Set figlio di Adamo) ha avuto tutto il tempo necessario per preparare l'arca e caricarla del suo prezioso contenuto. Per di più, dopo un'inondazione fluviale le popolazioni fanno in genere ritorno ai propri territori; per quanto si sa, invece, Noè (come del resto tutti i patriarchi dei miti conosciuti) e la sua famiglia lasciano il luogo di partenza per sempre (“Esci dall'arca tu e tua moglie, i tuoi figliuoli e le mogli dei tuoi figliuoli con te” Genesi 8, 16 ... “Siate fecondi e moltiplicatevi e riempite la terra” Genesi 9, 1).

Negli ultimi decenni, il mondo scientifico ha aperto ricerche interdisciplinari su un'area nuova ma con possibili legami con la cultura ebraica: il Mar Nero e le sue coste. Al momento tali ricer-

1. Non è ancora chiaro come il concetto degli “uomini puniti con il diluvio” si ritrovi sotto forma di credenza nelle culture di regioni della Terra anche lontane tra loro (Isole Hawaii, Cina, Brasile, Paraguay, Patagonia, Messico, Stati Uniti, Canada, Iran, nord Europa). In alcuni casi la figura accostabile a Noè ha un nome molto simile (Nu-u alle Hawaii, Nuwah in Cina, Noa in Amazzonia, ecc.).



Fig. 3 - Il viaggio di Abramo verso la "terra promessa".



Fig. 4 - I paesi bagnati dal Mar Nero



Fig. 5 - I paesi bagnati dal Mar Caspio

che hanno prodotto sostanzialmente due ipotesi, basate sul riscaldamento climatico, che offrono il vantaggio di fornire al diluvio una collocazione nel tempo e una dimensione più "universale": la prima lega la grande inondazione all'innalzamen-

to delle acque del Mediterraneo (Ryan *et al.*, 1997; Ryan & Pitman, 1998), la seconda alla risalita delle acque del Caspio (Tchepalyga, 2003).

Al fine di dare ai lettori la possibilità di comprendere meglio il significato e la portata delle due proposte, si è proceduto nel modo seguente: per prima cosa è stata elaborata una documentazione relativa sia alle caratteristiche attuali del Mar Nero e del Mar Caspio, sia alla loro evoluzione paleogeografica; per seconda sono state presentate le ipotesi con l'aggiunta di brevi osservazioni scientifiche; per terza è stato sviluppato il contesto storico in cui inserire verosimilmente l'evento biblico.

Il Mar Nero e il Mar Caspio: la loro nascita e la loro trasformazione nel tempo

Principali caratteristiche del Mar Nero

Situato tra l'Europa sud-orientale e l'Asia Minore (Fig. 4), il Mar Nero è chiamato in modo diverso dagli abitanti dei paesi che lo circondano. Lo Stretto del Bosforo lo mette in comunicazione con il Mar di Marmara, quello dei Dardanelli invece collega quest'ultimo mare all'Egeo; lo Stretto di Kerç, infine, ne stabilisce una relazione con il Mar d'Azov. Il Mar Nero, che senza il più piccolo Mar d'Azov ha una superficie di circa 436.400 km², raggiunge una profondità massima di 2.212 m (al centro la profondità si ferma a 830 m). La quantità di acqua dolce che riceve dai fiumi Danubio, Dnepr e Buh Meridionale (circa 350 km³ l'anno), associata a quella derivante dalle precipitazioni (circa 300 km³ l'anno), è di gran lunga maggiore rispetto a quella che evapora (circa 350 km³ l'anno); di conseguenza, la salinità superficiale si aggira mediamente intorno al 17%. Tale valore aumenta drasticamente oltre l'isobata di 150 m perché l'acqua salata dell'Egeo, più pesante, quando entra dal Bosforo si dispone al di sotto di quella salmastra. Queste particolari condizioni impediscono un ricambio di ossigeno in

profondità; in altre parole, risulta favorito verso il fondo lo sviluppo di ambienti anossici nei quali solo alcuni microorganismi estremofili riescono a vivere, consumando il solfato e rilasciando come scarto H₂S e CO₂.

Principali caratteristiche del Mar Caspio

Anche in questo caso, il nome che viene attribuito a questo mare è diverso a seconda dei paesi che lo circondano (Fig. 5). La lunghezza di circa 1200 km e la larghezza media di 310 km, per una superficie totale di 371.000 km², fanno sì che esso venga considerato il più grande mare chiuso della Terra (da alcuni il più grande lago). La sua profondità, che nella porzione settentrionale non supera i 6 m, in quella meridionale raggiunge i 1.025 m. Situato a 28 metri sotto il livello del mare (depressione caspica), il Caspio ha come immissari principali il Volga, l'Ural, il Kura e il Terek. Il rapporto tra il contributo di acqua fluviale e l'evaporazione è oggi a vantaggio di quest'ultima per cui si sta riducendo. La salinità è molto diversa da zona a zona: ad esempio, è molto bassa di fronte al delta del Volga mentre raggiunge valori del 30‰ nella baia di Garabogazköl (Turkmenistan).

Evoluzione paleogeografica dell'area che ospita i due mari

Per assolvere a questo compito vengono ripercorse alcune tappe significative della storia del nostro pianeta a partire da quando nel Triassico, oltre 200 milioni di anni fa, il continente Pangea iniziò a frantumarsi e a dare origine all'Oceano Tetide (Fig. 6) tra Laurasia (Eurasia e Nord America) e Gondwana (Africa, India, Antartide, Australia e Sud America).

Nel Giurassico tale oceano si ampliò approfondendosi verso ovest e dotandosi di collegamenti terrestri (Fig. 7).

Nel periodo successivo iniziò ad aprirsi prima l'Atlantico meridionale (Cretacico Inferiore) e poi l'Atlantico settentrionale (Cretacico Superiore); durante queste fasi l'Oceano Tetide si trovò ad avere un'estensione notevole, andando dalla regione ca-



Fig. 6 - Il golfo, apertosi tra Laurasia e Gondwana nel Triassico, che dette origine all'Oceano Tetide.



Fig. 7 - L'Oceano Tetide durante il Giurassico.

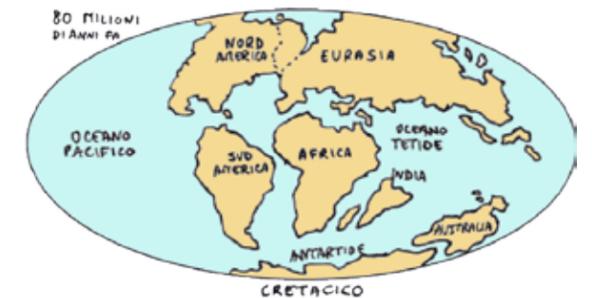


Fig. 8 - L'Oceano Tetide durante il Cretacico Inferiore, con l'apertura dell'Atlantico meridionale.

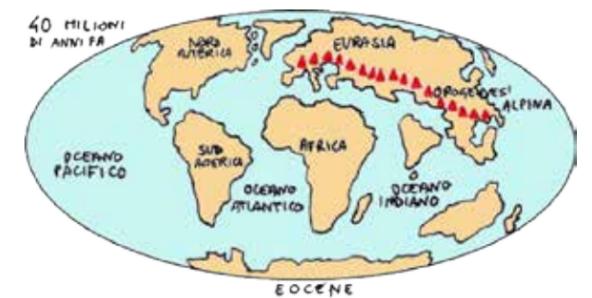


Fig. 9 - Con la completa individuazione dell'Atlantico l'Oceano Tetide ridusse il suo areale tra l'Eurasia e l'Africa e nell'Eocene superiore assunse questo aspetto.

raibica all'estremità orientale dell'Eurasia (Fig. 8).

Queste caratteristiche furono mantenute nelle linee generali nel Paleocene e in parte dell'Eocene (Fig. 9).

Al passaggio Eocene - Oligocene si realizzò una brusca diminuzione della temperatura in tutto il pianeta. Inoltre, con l'ulteriore allontanamento dell'America del Sud dall'Antartide la circolazione oceanica intorno a quest'ultimo continente divenne completa. Ciò interruppe l'arrivo delle più calde correnti tropicali per cui si giunse non solo ad un raffreddamento delle acque antartiche ma anche alla formazione di una calotta glaciale (in precedenza al suo posto erano diffusi i boschi). L'aumento dei ghiacci nell'Oligocene inferiore (Rupeliano, da 33,9 a 28,4 milioni di anni fa) produsse una diminuzione di oltre 50 metri del livello del mare; tale abbassamento, che fece nascere numerosi "ponti continentali", è da ritenersi responsabile della creazione di un ramo separato di ciò che restava dell'Oceano Tetide a cui è stato dato il nome di Paratetide (caratterizzata da acque mediamente non molto profonde, essa occupava una vasta area dell'Europa centro-orientale e dell'Asia occidentale; Fig. 10).

Intorno a 20 milioni di anni fa, nel Miocene Inferiore (Fig. 11), avvenne la collisione della placca arabo-africana con l'Eurasia per cui si interruppero le comunicazioni tra l'Oceano Tetide e la regione indo-pacifica (si ristabilirono per breve tempo



Fig. 10 - Come doveva presentarsi la Paratetide nell'Oligocene inferiore (Rupeliano). La linea unita in nero evidenzia l'andamento delle coste attuali.

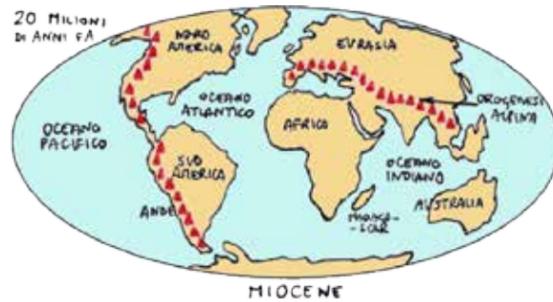


Fig. 11 - L'Oceano Tetide, ormai ridotto a golfo dell'Atlantico, nel Miocene Inferiore.



Fig. 12 - La Paratetide intorno a 12 milioni di anni fa (Miocene Medio, Serravalliano).

attraverso la Siria, tra 15 e 14 milioni di anni fa e nel Messiniano inferiore); contemporaneamente, verso oriente si configurò meglio l'Oceano Indiano e l'India entrò in collisione con l'Eurasia dando origine al sollevamento himalayano. Con la successiva chiusura dei collegamenti con la Paratetide, tra 15 e 14 milioni di anni fa, quello che era stato un oceano divenne ancor più un golfo dell'Atlantico (Paleo-Mediterraneo); all'interno della Paratetide, invece, fino al Tortoniano (Miocene Superiore) si delinearono meglio i bacini di Vienna, Pannonico, Dacico, Pontico e Aralo-Caspico (separati dalle catene montuose sorte per l'orogenesi alpina: Alpi, Dinaridi, Balcani, Carpazi, ecc.), caratterizzati da acque salmastre (Fig. 12).

Almeno nel Tortoniano medio-superiore e nel Messiniano inferiore (entrambi i piani fanno parte del Miocene Superiore) le acque del Paleo-Mediterraneo e dell'Atlantico si incontravano attraverso il Corridoio Betico (Spagna meridionale) e quello Rifano (Marocco settentrionale). Poco più di 6 milioni di anni fa tali comunicazioni si interruppero per un incremento dell'attività tettonica



Fig. 13 - Come doveva presentarsi il Bacino Mediterraneo nel periodo del disseccamento messiniano, con vasti specchi d'acqua ipersalati.

nelle due aree che portò ad un loro sollevamento e per l'impostazione di una forte regressione legata a variazione climatica (il livello del mare si abbassò di circa 60 m). Eliminate queste comunicazioni il Paleo-Mediterraneo venne a trovarsi completamente isolato (5,96 milioni di anni fa) e l'evaporazione, maggiore degli apporti fluviali e pluviali, condusse in breve all'abbassamento progressivo del livello marino, alla creazione di bacini minori a circolazione ristretta e a salinità crescente, alla deposizione evaporitica e all'emersione di vaste aree (Hsu, 1983). Durante l'intervallo di disseccamento vero e proprio, tra 5,59 e 5,50 milioni di anni, prevalsero fenomeni erosivi di grande estensione che crearono ampi sistemi di *canyon* ai margini del bacino (Fig. 13).

Nell'ambito di questa particolare fase mediterranea, nota come "crisi di salinità" del Messiniano, intorno a 5,5 milioni di anni fa un evento tettonico fece sì che le acque dolci e salmastre della Paratetide fluissero entro le aree in gran parte prosciugate; questa nuova situazione del Bacino Mediterraneo è conosciuta con il nome di "Lago-Mare" (Fig. 14).

Circa 5,3 milioni di anni fa, alla base del Pliocene e dello Zancleano, un altro evento fece abbassare la soglia di Gibilterra per cui le acque atlantiche vennero ad occupare il bacino, dando origine al Mediterraneo come noi lo conosciamo (Cita, 1975; Figg. 15, 16). È del tutto verosimile ritenere che a rendere più rapido il processo contribuì anche l'innalzamento oceanico connesso con una fase di riscaldamento.

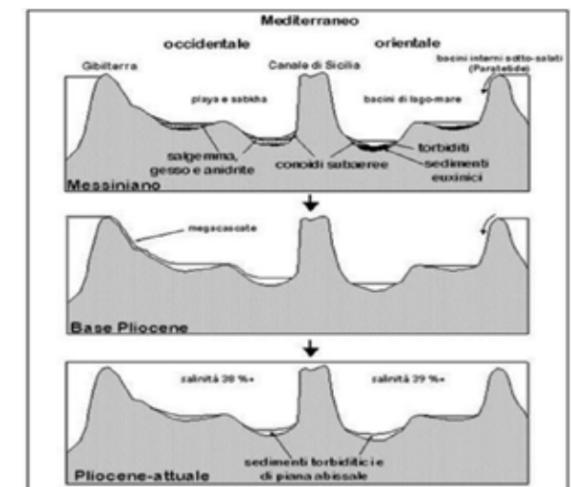


Fig. 14 - Evoluzione del Bacino Mediterraneo nel Messiniano: ipotesi di "bacino profondo disseccato" (da Ricci Lucchi, 1980 mod.).

Nel corso del Pliocene e del Quaternario la Paratetide andò incontro ad una continentalizzazione spinta e all'individuazione di bacini sempre più piccoli, fino al punto di ridursi ai tre specchi d'acqua attuali: il Mar Nero, il Mar Caspio e il Lago d'Aral. Durante le fasi climatiche quaternarie (in particolare degli ultimi 900.000 anni), tuttavia, la loro estensione variò più volte: per il secondo e il terzo prevalse la tendenza a rimpicciolirsi; per il primo, invece, questa fu sentita meno a causa dei contatti con le acque del Mare Egeo. Nella fase calda (Marine Isotope Stage 5e; Shackleton, 1967, 1969) risalente a 126.000 anni fa (inizio Pleistocene Superiore), ad esempio, la forte crescita del Mediterraneo produsse un innalzamento del livello del Mar



Fig. 15 - Il Mar Mediterraneo oggi.



Fig. 16 - Nello Stretto di Gibilterra, dove le acque dell'Oceano Atlantico entrano nel Mediterraneo, la profondità varia tra 300 e 900 m.



Foto 1 - L'area caucasica, che separa il Mar Nero (a sinistra) dal Mar Caspio (a destra), ripresa dall'alto. Nella sua parte superiore si trova la depressione di Kuma-Manych, in quella centrale i Monti dell'Ararat con il Corridoio Zangezur.

Nero ad esso collegato; a seguito di ciò, verosimilmente questo mare tornò in comunicazione con il Caspio attraverso la depressione di Kuma-Manych (Foto 1).

La crescita del mare e il diluvio: ipotesi di Ryan et al. (1997) e Ryan & Pitman (1998)

Sulla base di quanto ricostruito per l'arrivo delle acque atlantiche nel Bacino Mediterraneo intorno a 5,3 milioni di anni fa (si veda nel capitolo precedente), questi ricercatori del Lamont-Doherty Earth Observatory (Columbia University, Palisades N.Y.) ritengono che la forte risalita del livello marino dovuta all'interglaciale olocenico sia da considerarsi responsabile del superamento dello Stretto dei Dardanelli da parte delle acque dell'Egeo (a sostegno adducono l'erosione del fondale per trasporto rapido di massi lapidei verso il Mar Nero) e, dopo l'abbattimento della barriera costituita dallo Stretto del Bosforo (in realtà vi documentano solo profonde gole dovute a un consistente scorrimento d'acqua), del riempimento veloce di un Mar Nero ridotto e isolato (Figg. 17-19, Foto 2).



Fig. 17 - Il Mar Egeo si collega con il Mar Nero tramite il Mar di Marmara; quest'ultimo è compreso tra lo Stretto dei Dardanelli e quello del Bosforo.



Foto 2 - Istanbul: l'ingresso delle acque del Mar di Marmara nello Stretto del Bosforo.



Fig. 18 - Particolare dello Stretto dei Dardanelli.

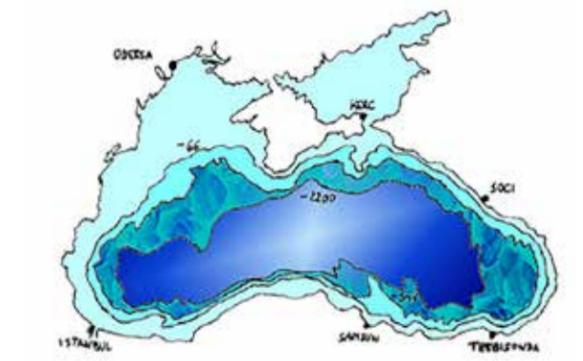


Fig. 19 - In blu chiaro è indicato l'areale del Mar Nero oggi, in blu scuro quello risalente a 7540 anni fa.

Tale avvenimento, da loro descritto come “una corsa violenta di acqua salata in una depressione contenente un lago di acqua dolce” (ad una profondità di circa 150 m individuano una superficie alluvionale: al di sotto di questa segnalano depositi con resti di organismi d'acqua dolce, al di sopra depositi con resti di organismi d'acqua salata) e fatto risalire a 7.540 anni fa, avrebbe non solo aumentato sensibilmente le dimensioni del “lago” ma avrebbe sommerso le diverse comunità protostoriche che abitavano le sue fertili sponde.

I superstiti di tali comunità si sarebbero poi dispersi, sia nelle valli del Danubio che in quella compresa tra il Tigri e l'Eufrate, portando con sé il ricordo delle acque distruttrici (diluvio biblico).

Osservazioni

Durante l'ultimo massimo glaciale del Pleistocene (20-22.000 anni fa, MIS 2) il livello del mare è sceso di circa 120 m. Mazzanti & Mazzei (2015) ricordano che la successiva risalita di tale livello si è estrinsecata attraverso tre fasi principali (Fig. 20): “nella prima, tra l'ultimo massimo glaciale e l'inizio dell'Olocene, essa ha toccato i 60 m in condizioni più lente e più rapide di deglaciazione; nella seconda, tra 11 mila e 7-8 mila anni fa, ha acquisito un carattere di maggiore linearità raggiungendo i 55 m; nella terza, tra 7-8 mila anni fa ed oggi, ha ricoperto i metri mancanti.” Se si considera inoltre la curva della temperatura olocenica (Fig. 21), è possibile vedere che a circa 7500 anni BP (quin-

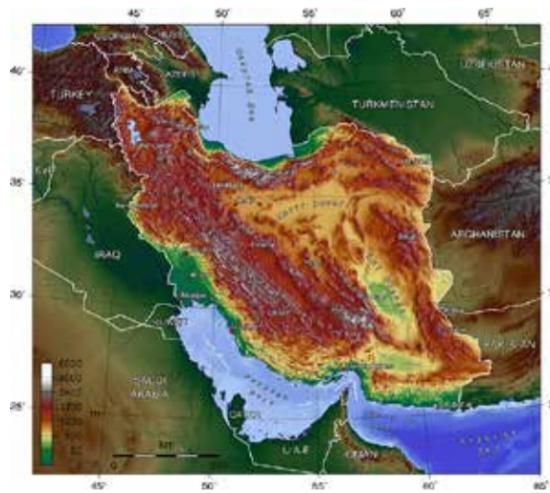


Fig. 24 - Nella parte nord-occidentale dell'Iran si ritrova l'area montuosa abitata dai Sumeri intorno a 6000 anni fa. La figura fa intravedere anche il possibile percorso da loro seguito nello spostamento verso la Bassa Mesopotamia.



Fig. 25 - Ubicazione del Monte Ararat al limite orientale della Turchia, nei pressi della città di Dogubeyazit (Prov. di Agri).



Foto 3 - Il Monte Ararat è uno strato-vulcano (ultima eruzione nel 1840) originatosi circa 20 milioni di anni fa dallo scontro della placca arabo-africana con quella asiatica. La foto è ripresa dalla piana (Corridoio Zangezur) sovrastata dal centro storico di Khor Virap in Armenia.

costanti (spesso l'ampliamento di queste strutture idrauliche portava a guerre tra città). I loro modelli socio-culturali furono di assoluto rilievo anche per l'uso della scrittura, prima in forma pittografica (comparsa alla fine del IV millennio a.C.; Foto 4), poi cuneiforme (Foto 5). L'affermazione di questo popolo colto dell'antichità è testimoniata proprio dal ritrovamento di numerosissimi testi sopravvissuti alla Storia, scritti prevalentemente su tavole di argilla.

Tra i molteplici miti dei Sumeri, quello riguardante Gilgamesh (probabilmente un re della città di Uruk; Foto 6) è forse il più importante. Fra l'altro, intorno a questa figura venne formandosi addirittura un poema epico che prima fu tramandato oralmente di padre in figlio e poi riportato su 13 tavolette di argilla, oggi conservate al Museo del Louvre. In particolare, nel poema si narra che durante un suo viaggio alla ricerca del segreto dell'immortalità Gilgamesh incontrò, nella terra di Dilmun dove sorge il sole, un vecchio di nome Utnapishtim (antico re di Shuruppak) cui era stato dato questo dono eccezionale e irripetibile. Questi gli parlò sia del catastrofico diluvio, da cui peraltro era scampato allo stesso modo di Noè, sia di come era la Terra in precedenza; in altre parole, nell'epopea di Gilgamesh si ha proprio l'impressione di rivivere da vicino la narrazione della Genesi. Tale fatto e l'ubicazione del Monte Ararat costituiscono preziose conferme a riguardo dello stretto legame tra il diluvio e i Sumeri

“Nel settimo mese, il diciassette del mese, l'arca si fermò sui monti dell'Ararat”

Per cercare di trasformare in realtà ciò che da molti è considerato solo credenza o leggenda, occorre risolvere anche il problema dell'arrivo dell'arca sui monti dell'Ararat (Foto 7) partendo dalle sponde del Mar Nero. Dalle foto 1, 3 e 7 si evincono sia la posizione dei monti di fronte al Corridoio Zangezur, sia l'aspetto morfologico delle aree caucasiche coinvolte nell'argomento. Per quanto riguarda l'ultimo punto, sono evidentemente diversi i dislivelli che le acque devono superare a seconda che si provenga direttamente dal Mar Nero o dal Mar Caspio. In precedenza, però,



Fig. 26 - Lo sfruttamento delle acque dei fiumi attraverso una rete di canali era alla base dell'economia dei Sumeri.



Foto 4 - Tavolette calcaree incise da scrittura pittografica (fondamentalmente figurativa), una delle prime conosciute. Esse sono state rinvenute nella città di Kish (attuale Iraq) e sembrano risalire al 3.500 a.C.



Foto 5 - Scrittura cuneiforme su tavola di argilla.

si è veduto che 7.540 anni fa (momento di massima deglaciazione olocenica) il Mediterraneo è andato ad occupare rapidamente e consistentemente il Mar Nero, alzando di svariate decine di metri la sua superficie; è da ritenersi verosimile, inoltre, che nello stesso periodo anche il Mar Caspio abbia innalzato il suo livello per i maggiori apporti di acqua dolce, fluviale e pluviale. Tutto ciò fa pensare che il conseguente superamento della depressione di Kuma-Manych da parte delle grandi

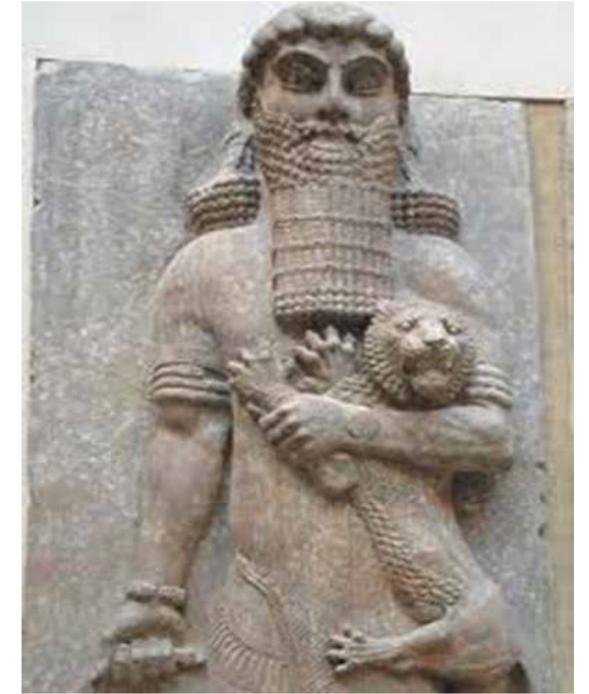


Foto 6 - Raffigurazione di Gilgamesh, un eroe sumero per due terzi divino ed un terzo umano che, oltre ad essere di riferimento per i giovani guerrieri della città di Uruk, era un amante delle arti e dei viaggi.



Foto 7 - Il Monte Ararat (a destra) e il Lesser Ararat (a sinistra) visti dal Corridoio Zangezur.

masse d'acqua abbia creato un unico mare, dove l'arca era in grado di navigare sollevata a quote più alte. Pur partendo dal Mar Nero, quindi, la mitica imbarcazione avrebbe potuto avvicinarsi all'Ararat dal lato orientale della zona caucasica; su questo lato, fra l'altro, sono presenti ampi tratti pianeggianti che potrebbero supportare tale interpretazione. In questa sede non possiamo andare oltre queste considerazioni; per il momento e per amor del vero, è possibile solo invitare gli

studiosi a dedicarsi con più attenzione alla risoluzione del problema.

Conclusioni

Pur non potendo sostenere con assoluta certezza che l'imponente invasione del Mar Nero ad opera delle acque mediterranee coincida con il Diluvio Universale della Bibbia, senza dubbio però lo sce-

nario offerto da questo mare 7.540 anni fa risponde meglio di altri alle domande che ci possiamo porre a riguardo. Inoltre, le migrazioni effettuate nel tempo dai Sumeri (Mar Nero, altopiano iranico, Mesopotamia), la loro affermazione territoriale e culturale nella Bassa Mesopotamia, il Poema di Gilgamesh e la sua conoscenza da parte della comunità di Abramo nel periodo di permanenza in questa regione, forniscono indicazioni consistenti a favore del collegamento tra i due eventi.

Testi citati

Cita M.B. (1975) - *The Miocene/Pliocene boundary: history and definition*. In Saito T. & Burkle L.H., Late Neogene Epoch Boundaries. Micropaleontology, spec. pubbl., 1: 1-30.

Hsu K.J. (1983) - *The Mediterranean Was a Desert*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Lambeck K. (1996) - *Sea-level change and shore-line evolution in Aegean Greece since Upper Palaeolithic time*. *Antiquity*, 70 (269): 588-611.

Lambeck K. (2005) - *Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas*. *Quaternary Science Reviews*, 24 (18-19): 1969-1988.

Mazzanti R. & Mazzei R. (2015) - *Le oscillazioni quaternarie del livello marino e la loro influenza sui territori della Maremma Toscana e delle isole*. Pubbl. del Dipartimento di Scienze FTA, Università di Siena, Edizioni Cantagalli, 1-96.

Pitman W.C. & Ryan W.B. (1999) - *Diluvio*. Edizioni Piemme. Ricci Lucchi F. (1980) - *Sedimentologia*. Bologna, CLUEB. Parte 3, p. 430.

Ryan W.B. & Pitman W.C. (1998) - *Noah's Flood: The new scientific discoveries about the event that changed history*. A Touchstone Book, Published by Simon&Schuster.

Ryan W.B., Pitman W.C., Major C.O., Shimkus K., Moskalenko V., Jones G.A., Dimitrov P., Gorür N., Sakiç M. & Yüce H. (1997) - *An abrupt drowning of the Black Sea shelf*. *Marine Geology*, 138: 119-126.

Shackleton N.J. (1967) - *Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed*. *Nature*, 215: 15-17.

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

Tchepalyga A. (2003) - *Late glacial great flood in the Black Sea and Caspian Sea (abstract)*. The Geological Society of America 2003 Seattle Annual Meeting, 35-36.

Il punto della situazione



Pettirosso: *Erithacus rubecula* (Linnaeus, 1758)
Foto di Giovanni Bencini

Il paradigma scientifico ufficiale è impotente a far luce sulle origini del genere umano

Roberto Fondi

Già docente presso l'Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina 8, 53100 Siena.

Dalla sua prima comparsa ad oggi, la vita si è diffusa e perpetuata sul nostro pianeta cambiando ripetutamente di configurazione ed aumentando generalmente in complessità. Grazie alla Paleontologia questo dato di fatto, definibile senz'altro come "evoluzione biologica", è ormai acquisito da oltre un secolo e mezzo. Ciò che invece non risulta ancora acquisito, è che l'inestimabile e basilare contributo della Paleontologia alle scienze della natura risiede non soltanto nell'aver essa inconfutabilmente dimostrato quel dato di fatto, fornendone altresì una documentazione via via sempre più precisa, ma anche nell'aver evidenziato fin dalla propria nascita (basti soltanto pensare a Cuvier e a d'Orbigny) l'inadeguatezza del paradigma evoluzionistico-trasformista di eredità lamarckiano-darwiniana quale spiegazione scientifica del medesimo. Secondo tale paradigma, l'evoluzione biologica consisterebbe né più né meno che in un mero processo di "discendenza con modificazione da progenitura comune", cioè implicante la connessione ereditaria diretta e la spiegazione con gli antecedenti, e perciò descrivibile in modo appropriato tramite il canonico modello lineare dell'albero genealogico o filogenetico-cladistico. In piena conformità con la logica di tipo ordinario, insomma, l'evoluzione sarebbe un processo deterministico-causale svolgentsi all'insegna della continuità, della diacronicità (post hoc, ergo propter hoc), della località e della divergenza. Al contrario, i risultati della Paleontologia macroevolutiva ci mettono di fronte ad un quadro inaspettato e sconcertante ove dominano la discontinuità, l'interazione non-lineare, la sincronicità, la non-località e la convergenza. E siccome questo quadro interessa praticamente tutti i gruppi viventi, sarebbe davvero anomalo aspettarsi che soltanto il genere umano vi figurasse come eccezione.

L'immagine canonica del paradigma evoluzionistico travisa la realtà

“Il tema della coercizione esercitata dalle immagini canoniche è particolarmente importante nella scienza, dove quasi tutte le principali teorie possiedono una loro immagine caratteristica”. Dopo aver scritto questa frase, il famoso paleontologo Stephen Jay Gould così puntualizzava sul tema dell'evoluzione dei viventi: “Non conosco nessun altro argomento altrettanto distorto dalle immagini canoniche. Queste, infatti, più che i dati della paleontologia o della teoria darwiniana, riflettono le preferenze sociali e le speranze personali. (...) La più seria e pervasiva tra le interpretazioni errate dell'evoluzione dei viventi equipara quest'ultima ad una forma di progresso, di solito intrinseco e prevedibile, e diretto verso il culmine della perfezione umana.” (Gould, 1999: 55).

In effetti, ogni qual volta si affronta l'argomento delle origini umane, non soltanto nella letteratura a carattere giornalistico o popolare, ma anche nei libri di testo scolastici, nelle ricostruzioni presentate dai musei di storia naturale e perfino nei testi divulgativi scritti da autori di sicura competenza e meritata rinomanza (e mi limito qui a ricordare, a puro titolo di esempio, soltanto quello pubblicato da Bernard Wood nel 1976), è comune imbattersi nella relativa e classica immagine canonica. Con una gamma di varianti piuttosto limitata, essa mostra un certo numero di mammiferi Primati di aspetto sempre meno scimmiesco e sempre più umano allineati in successione come ad esprimere altrettante tappe di un medesimo processo di “discendenza con modificazione”. Le tappe, per limitarsi alle

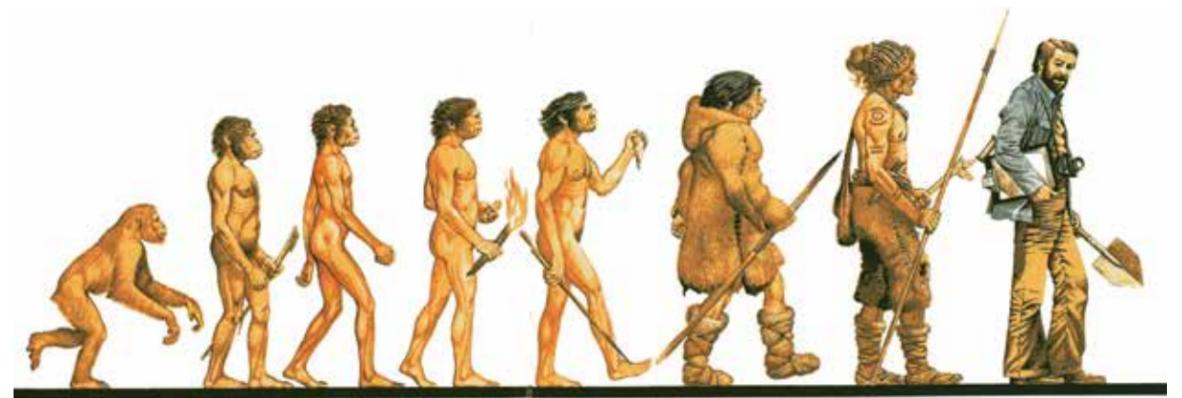


Fig. 1 – L'immagine canonica dell'evoluzione umana nella realizzazione di Giovanni Caselli, antropologo e disegnatore italiano di formazione culturale britannica (dal frontespizio di *The evolution of early Man*, testo di Bernard Wood pubblicato nel 1976 da Eurobooks).

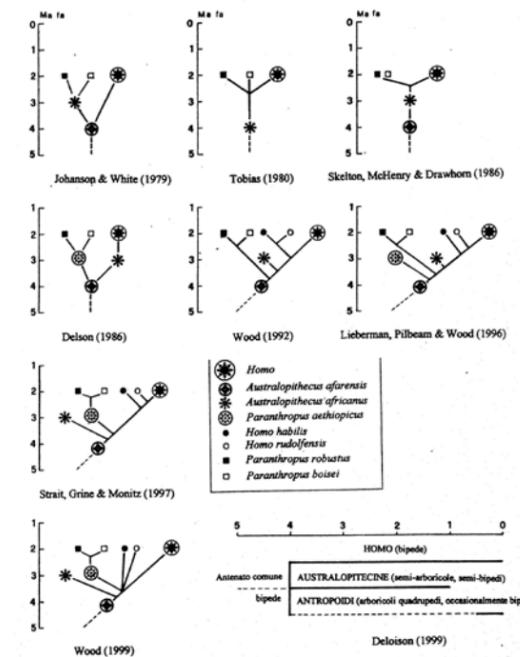


Fig. 2 – Alberi genealogici degli Ominini proposti durante gli anni '80 e '90 del secolo scorso.

essenziali, sarebbero le seguenti: *Australopithecus* di corporatura gracile → *Homo habilis* → *Homo erectus* → *Homo sapiens* “arcaico” → *Homo sapiens neanderthalensis* → *Homo sapiens sapiens* (Fig. 1). Nel volume di Richard Klein (1989), ad esempio, i titoli dei capitoli si succedono rispettando appunto queste tappe.

Eppure 16 anni dopo lo stesso Wood, nel riassunto di presentazione di un articolo pubblicato su *Natu-*

re, non ha esitato ad affermare nei seguenti ed assai espliciti termini: “È notevole che la tassonomia e le relazioni filogenetiche dei primi rappresentanti conosciuti del nostro genere, *Homo*, permangano oscure. I progressi nelle tecniche di datazione assoluta ed i nuovi accertamenti relativi al materiale fossile in sé medesimo, hanno fatto diventare insostenibile (corsivo mio: ndr) il modello di un'evoluzione umana lineare, nella quale *Homo habilis* succedette alle australopithecine e poi si trasformò tramite *H. erectus* in *H. sapiens*. A tutt'oggi, però, non è ancora emerso alcun chiaro consenso di natura alternativa” (Wood, 1992).

Mentre scrivo questo articolo sono passati altri 24 anni e il quadro è diventato ancora più problematico e confuso. “Un tempo, ricostruire l'evoluzione degli antenati di *Homo sapiens* era ritenuto relativamente semplice: *Australopithecus* generò *H. erectus*, che generò l'uomo di Neanderthal, che generò noi. Negli ultimi quarant'anni le scoperte di fossili in Africa orientale e non solo, insieme ad altri fattori, hanno completamente demolito (corsivo mio: ndr) questa ipotesi. Le prove più recenti dimostrano che varie specie diverse di ominini hanno condiviso il pianeta in epoche diverse. Ai paleontologi ci vorranno decenni per capire come sono imparentate, e quali abbiano portato direttamente a noi.” (Wood, 2014a).

Questo è il reale punto della situazione. E nonostante ciò, sebbene si riconosca che la tassonomia e le relazioni filogenetiche tra le varie forme di ominini fossili finora portate alla luce rimangono incerte –

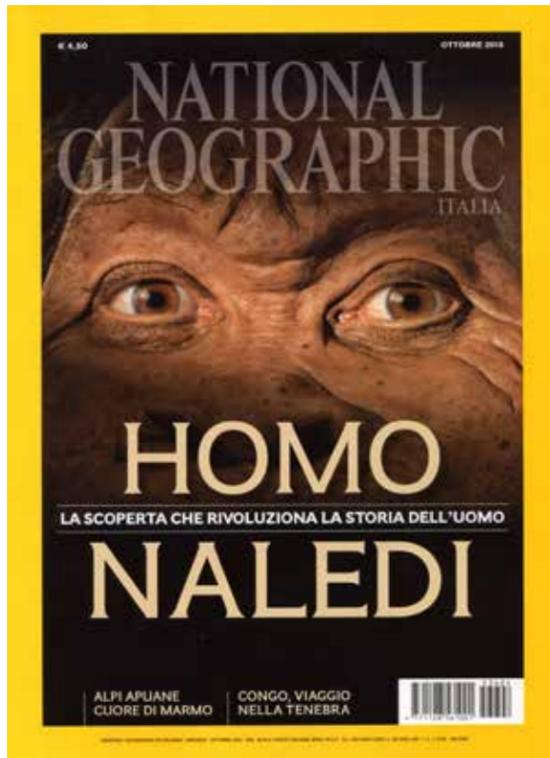


Fig. 3 – Copertina del numero di ottobre 2015 del *National Geographic* nel quale si annuncia la scoperta di *Homo naledi*.

tanto che le soluzioni proposte dai vari autori continuano a presentarsi innumerevoli e perfino radicalmente differenti l'una dall'altra (Fig. 2) –, sul piano teorico si insiste nel mantenersi fermamente ancorati al paradigma lamarckiano-darwiniano della “discendenza con modificazione da progenitori comuni”; per cui si ritiene obbligatorio che ogni nuovo rinvenimento, soltanto per il fatto di dare per scontato che possa trattarsi di un nostro antenato, vada “valorizzato” il più possibile e adeguatamente introdotto nel mercato dei protagonismi e dei sensazionalismi. Lo si è visto con la famosa “Lucy”, un *Australopithecus afarensis* a suo tempo proclamato “iniziato del genere umano”; e lo si continua a vedere in questi giorni con *Homo naledi*, non ancora datato e nonostante ciò presentato egualmente ai media come “un animale all’apice della transizione da australopiteco a *Homo*” (dichiarazione del suo scopritore Lee Berger riportata da Shreeve, 2015) e come “la scoperta che rivoluziona la storia dell’uomo” (Fig. 3). D’altra parte

le presentazioni in sede accademica dei nuovi rinvenimenti, quasi a volersene assicurare il *copyright*, sono pressoché regolarmente accompagnate dal fenomeno dell’inflazione di “nuove specie” spesso istituite con grande disinvoltura, cioè sulla base di scarsi se non addirittura singoli reperti e senza troppo tener conto della variabilità biologica. Il risultato è la “bewildering diversity of names” già denunciata da Ernst Mayr fin dal 1950. In via parallela, dietro l’esempio del “Johnny’s Child” impartito da Jonathan e Mary Leakey all’olotipo o esemplare di riferimento di *Homo habilis*, è andata diffondendosi la consuetudine di assegnare affettuosi nomignoli ai differenti reperti: “Nutcracker Man”, “Twiggy”, “Cindy”, “George”, “Cinderella”, “Lucy”, “Ardi”, “Abel”, “Little Foot”, “Millennium Man”, “Toumai”, “Argil”, “Hobbit”, “Selam”, “Karabo”, ecc. E infine, come se tutto ciò non bastasse, ci si trova a dover fare i conti con il problema della trasparenza, così riassunto da Gianfranco Biondi e Olga Rickards: “Coloro che con sacrificio, rischio e competenza portano alla luce i fossili tendono poi a impedire agli altri studiosi – se non rientrano nel loro giro di amicizie o siano i ‘guardiani’ di pezzi importanti – di esaminare il materiale. È indubbio che a chi scopre i resti dei nostri antenati debbano essere garantiti la primogenitura e il tempo necessario per studiarli. Ma quel tempo non può essere infinito, e chi ha la legittima pretesa di istituire nuove specie o cambiare i paradigmi deve necessariamente condividere i ritrovamenti con il resto della comunità scientifica.” (2003: 35).

I due correnti modelli interpretativi

Comunque stiano le cose, nella cornice del paradigma ufficiale continuano a rendersi distinguibili due diversi modelli interpretativi: quello “multiregionale” o “della continuità regionale” e quello della “sostituzione” o “dell’origine singola africana”. Si tratta di due modelli che, a ben vedere, altro non rappresentano se non un’estensione al campo paleoantropologico delle più generali concezioni note rispettivamente come “gradualista classica” e “puntuazionista” (Fig. 4).

Il modello della continuità regionale risale a Franz Weidenreich (1946), è stato notevolmente sviluppato da Carleton Coon (1962) ed è oggi attivamente sostenuto da Milford Wolpoff (cfr., ad es.: Thorne & Wolpoff, 1992; Wolpoff & Caspari, 1996; Wolpoff, 1998). Tale modello considera il genere umano come costituito da un’unica specie politipica e ritiene perciò che i suoi primi rappresentanti altro non siano se non antiche varianti di *H. sapiens* Linnaeus 1758. Negli ultimi due milioni di anni vi sarebbe stato un unico insieme di popolazioni distribuito in tutto il Vecchio Mondo, con ciascuna popolazione adattantesi alle differenti condizioni locali ma rimanendo collegata ed in continuo scambio genico con tutte le altre. In definitiva, quindi, la variabilità geografica attualmente riscontrabile fra le maggiori popolazioni della nostra specie non farebbe che riflettere l’ultima permutazione di questo lungo processo. Una variante dell’ipotesi multiregionale, portata avanti da Fred Smith e chiamata “modello di assimilazione”, riconosce un contributo maggiore di caratteristiche moderne da parte di popolazioni africane.

Come ha sottolineato anche Klein, in ogni caso, il modello della continuità regionale “...comporta che si scoprono sicuri fossili di transizione tra le forme arcaiche di *Homo* e quelle moderne: ma fossili del genere mancano vistosamente in Asia orientale come in Europa. In Europa, anzi, vi sono prove particolarmente forti contro la continuità regionale.” (Klein, 1989, ed. it.: 278). Del resto, basterebbe ricordare i reperti giavanesi di Ngandong, riferiti unanimemente a *H. erectus* nonostante risalgano a meno di 50.000 anni fa: come mai non si sono evoluti in forme anatomicamente moderne, considerando che *H. sapiens* si era già spinto in Australia, cioè addirittura oltre la linea di Wallace, almeno 60.000 anni fa? (Gore, 1998).

Contrariamente a quello ora descritto, il modello della sostituzione o dell’origine unica africana, che almeno fino ad oggi ha ricevuto il maggior numero di adesioni (è accettato, ad esempio, da specialisti come Chris Stringer, Richard Klein, Matt Cartmill e Ian Tattersall), considera l’evoluzione del genere umano come un processo iniziato in Africa ed

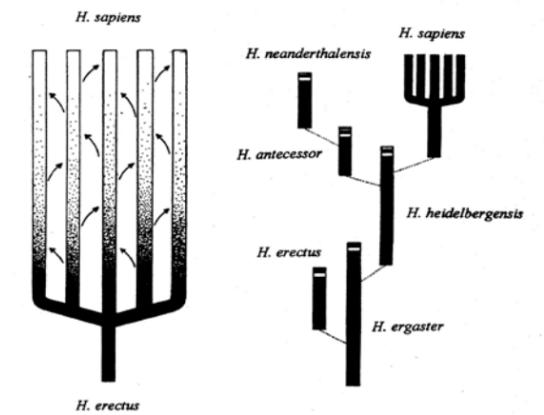


Fig. 4 – Schemi illustrativi dei due modelli dell’evoluzione umana maggiormente seguiti: a sinistra, della continuità regionale; a destra, dell’origine unica africana.

articolatosi in una serie di tappe rappresentate da altrettante specie, ciascuna delle quali derivata da una popolazione ancestrale vissuta in un determinato luogo e da quest’ultimo irradiatasi poi altrove. Sul numero esatto delle specie umane permangono i più ampi disaccordi: per alcuni sarebbero non più di 4 [*H. habilis* Leakey *et al.* 1964, *H. erectus* (Dubois 1894), *H. neanderthalensis* King 1864 e *H. sapiens* Linnaeus 1758]; per altri fino a 12 [le già citate, più *H. rudolfensis* (Alexeev 1986), *H. floresiensis* Brown *et al.* 2004, *H. naledi* (Berger *et al.* 2015), *H. ergaster* Groves & Mazák 1975, *H. antecessor* Arsuaga *et al.* 1997, *H. cepranensis* Mallegni *et al.* 2003, *H. heidelbergensis* Schöetensack 1908, *H. rhodesiensis* Woodward 1921]. Sia come sia, si ipotizza che la nostra specie abbia avuto origine in un solo luogo, l’Africa subsahariana, e da lì si sia poi diffusa in ogni altra regione del Vecchio Mondo sostituendovi le forme arcaiche precedenti senza incrociarsi con esse. Esiste comunque una versione meno rigida del modello, rappresentata da Günter Bräuer, la quale non esclude la possibilità che si siano generati ibridi fra gli esseri umani moderni e i gruppi arcaici incontrati durante la loro espansione in nuovi territori.

“Il problema maggiore (del modello dell’origine unica africana)”, puntualizza Cartmill, “è che nessuno è in grado di distinguere tra loro con sicurezza queste supposte specie. C’è un mucchio di fossili che sta a cavalcioni sulle linee di confine tra di esse,

e non esistono due esperti che si trovino d'accordo su dove una specie finisca ed inizi l'altra" (1997: 58).

Proposta di un nuovo modello

Dal punto di vista di chi scrive, ai due modelli interpretativi correnti è possibile contrapporre un terzo maggiormente coerente con i dati disponibili.

Lasciando in sospeso il giudizio circa la reale posizione sistematica di *H. floresiensis*, l'enigmatico e tardo-pleistocenico "Hobbit" dell'Isola di Flores (ritengo che a tale proposito sia necessaria l'acquisizione di ulteriori dati), il nuovo modello:

1) considera il genere *Homo* come ben distinto dal complesso australopitecino;

2) considera l'ipodigma (cioè l'insieme dei resti fossili) includente *H. habilis* s.l. (*sensu lato*) [ovvero *H. habilis* s.s. (*sensu strictu*) + *H. rudolfensis*], parte dei reperti di Dmanisi in Georgia (attribuiti indistintamente ad *H. erectus* dal team dei loro scopritori) e *H. naledi* recentemente rinvenuto nelle grotte sudafricane di Rising Star, come riferibile non al genere umano, ma al complesso australopitecino;

3) ritiene che il genere *Homo* consista di due sole specie politipiche ben distinte nella morfologia e nel comportamento: la nostra, risalente per quanto finora ne sappiamo a circa 200.000 anni or sono, ed un'altra molto più antica, risalente a circa 2-2,5 milioni di anni or sono e rapidamente distribuitasi in tutto il Vecchio Mondo;

4) ritiene che l'ipodigma della specie più arcaica includa quelli di *H. ergaster*, *H. erectus*, *H. antecessor*, *H. heidelbergensis* e *H. neanderthalensis* e debba pertanto, per la legge di priorità vigente in nomenclatura tassonomica, ricevere la designazione di *H. neanderthalensis* King 1864;

5) non respinge aprioristicamente come privo di valore l'insieme di dati raccolto dai criptozoologi, in base al quale l'altra specie umana sarebbe sopravvissuta – sotto forma di popolazioni relitte disperse in aree montuose dell'Asia paleartica e forestali dell'Asia tropicale – fino almeno al secolo scorso.

Per ragioni di spazio, in questo articolo sono discussi unicamente i primi due punti del nuovo mo-

dello. L'analisi dei rimanenti sarà oggetto di uno studio successivo.

Sahelanthropus, *Orrorin*, *Ardipithecus* e *Kenyanthropus*

In pratica, fino ai primi anni di questo secolo non si disponeva di alcuna documentazione relativa ad ominini vissuti durante l'ultima fase del Miocene, cioè approssimativamente dai 7 ai 5 milioni di anni (Ma) or sono. Al contrario, il Pliocene ed il Pleistocene africani, nell'intervallo di tempo compreso fra 4,4 e meno di 1,0 Ma or sono, e perciò abbracciate circa 3,4 Ma, includeva numerose testimonianze fossili di questa sottofamiglia di mammiferi primati.

Lo studio paleontologico degli ominini ha indotto gli specialisti a differenziarli in alcuni generi, il numero dei quali oscilla da un minimo di 4 [*Homo* Linnaeus 1758, *Australopithecus* Dart 1925, *Paranthropus* Broom 1938 (includente gli australopiteci cosiddetti "robusti") e *Praeanthropus* Senyürek 1955, relativo all'unica specie *P. africanus* (Weinert 1950), della quale *Australopithecus afarensis* Johanson & White 1978 sarebbe un sinonimo più recente] ad un massimo di 8 (i già menzionati, più *Ardipithecus* White *et al.* 1995, *Kenyanthropus* Leakey *et al.* 2001, *Orrorin* Senut *et al.* 2001 e *Sahelanthropus* Brunet *et al.* 2002).

Proveniente dal Ciad settentrionale e datato intorno ai 7-6 Ma or sono, *Sahelanthropus* è rappresentato da un singolo cranio (Fig. 5) che, pur risultando assai primitivo, secondo Brunet *et al.* (2002) ha i canini tendenti per dimensioni, forma e tipo di usura alla configurazione umana. A parte il non lieve grado di deformazione dovuto all'espandersi della matrice nelle fratture (*expanding matrix distortion*, EMD), la particolarità dei canini può essere considerata di peso troppo limitato affinché il cranio debba essere visto senz'altro come quello di un ominino: tant'è che Wolpoff *et al.* (2002) lo assegnano senza alcuna esitazione alle scimmie antropomorfe.

Il lievemente più recente *Orrorin*, rinvenuto egualmente in Kenya e risalente a 6 Ma or sono, consiste di denti e ossa degli arti frammentarie (Fig. 6) che, secondo Pickford *et al.* (2002), pur presentandosi come



Fig. 5 – Cranio del primate classificato come *Sahelanthropus tchadensis* Brunet *et al.* 2002 e vissuto nel Ciad fra i 7 e i 6 milioni di anni or sono.



Fig. 6 – Resti del primate classificato come *Orrorin tugenensis* Senut *et al.* 2001 e vissuto nel Kenya 6,1-5,7 milioni di anni or sono.

sostanzialmente primitivi (canini grandi ed appuntiti; ossa del braccio e delle dita da arrampicatore), al livello dei femori testimoniavano un'andatura da bipede simile a quella di "Lucy". Ma non tutti gli specialisti, e tra questi vi sono Leslie Aiello e Owen Lovejoy, ritengono convincente la prova dei femori. "L'antichità di *Orrorin* ne fa indubbiamente un elemento aggiuntivo assai importante al dibattito sulle origini umane. Si è però ben lungi dall'aver raggiunto un consenso circa il suo ruolo nell'evoluzione umana. Vi sono molte ipotesi alternative egualmente difendibili, non escluse alcune per le quali *Orrorin* non è un ominino." (Aiello & Collard, 2001: 527).

Ardipithecus popolò l'Etiopia e il Kenya da 5,7-5,4 a 4,4-3,9 Ma or sono. Anche qui si ha a che fare con scarsi frammenti, finora assegnati a due specie [*A. kadabba* Haile-Selassie 2001, la più antica, e *A. ramidus* (White *et al.* 1994), la più recente] che però tendono ad essere considerate come unica. I reperti colpiscono per le forti somiglianze con le scimmie antropomorfe (Fig. 7), però rispetto a queste ultime mostrano anche i canini ridotti e il forame occipitale in posizione avanzata: fatto che suggerirebbe una postura eretta da ominino. "A differenza delle grandi scimmie africane attuali, l'alto grado di estensione del polso suggerisce che quando camminava a quattro zampe Ardi sosteneva il proprio peso sui palmi, non sulle nocche.

Le sue dita, poi, erano relativamente lunghe e incurvate, utili per arrampicarsi sugli alberi, ma polsi e mani forse non consentivano di passare da un ramo all'altro con l'agilità degli scimpanzé. Anche gli arti inferiori di Ardi mostrano una combinazione di tratti di tipo umano con caratteri da grande scimmia antica. Mentre i piedi relativamente piatti e l'alluce divergente sarebbero stati utili per la locomozione arboricola, la rigidità del piede e la capacità di flettersi all'indietro delle altre dita avrebbero facilitato l'andatura bipede." (Harmon, 2013: 51). Da parte di alcuni specialisti, pertanto, si ipotizza che questa creatura assumesse una postura eretta solo in maniera intermittente, ad esempio quando doveva tenere in mano qualcosa. Infine può non essere inopportuno far notare che, data la notevole abbondanza, nei sedimenti includenti *Ardipithecus*, di resti di legni, semi, scimmie e altri animali che non vivono in spazi aperti, il primate in questione doveva aver vissuto in un ambiente di foresta: un dato che non sembra supportare la tesi classica secondo cui l'acquisizione della bipedia sarebbe stata indotta da un deterioramento climatico apportatore di deforestazione e di savana.

Gli ultimi *Ardipithecus* convivevano con i primi rappresentanti del genere *Australopithecus*, la cui specie più antica, *A. anamensis* M.G. Leakey *et al.* 1995, popolava il Kenya intorno ai 4 Ma or sono (Leakey &

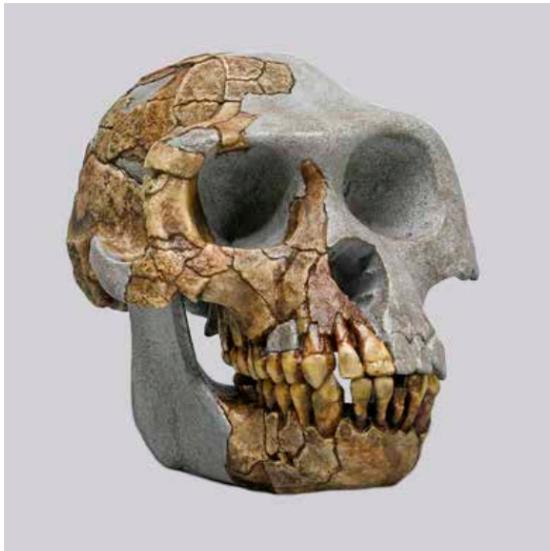


Fig. 7 – Cranio del primate classificato come *Ardipithecus ramidus* White et al. 1994 e vissuto in Etiopia circa 4,4 milioni di anni or sono.

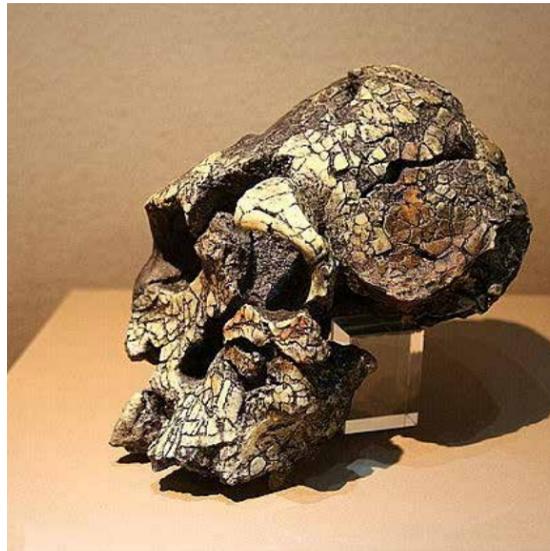


Fig. 8 – Cranio del primate classificato come *Kenyanthropus platyops* M. Leakey et al. 2001 e vissuto nel Kenya 3,5-3,2 milioni di anni or sono.

Walker, 1997). È opinione diffusa, in ogni caso, che *Ardipithecus* e *Australopithecus* siano cronologicamente troppo vicini e morfologicamente troppo diversi perché sia possibile sostenere una discendenza diretta del secondo dal primo; per cui si tende a considerare *Ardipithecus* come un'antica e sterile diramazione dalla "linea evolutiva" conducente all'uomo.

Per quanto riguarda *Kenyanthropus*, esso consiste di un cranio e di alcune ossa del piede rinvenuti in Kenya e risalenti a 3,5-3,2 Ma or sono. È assai dubbio che rappresenti un genere ominino a sé stante, in quanto il principale reperto di riferimento è affetto da un grado talmente elevato di EMD (Fig. 8) che è arduo identificarne con certezza le caratteristiche morfologiche. Per non pochi specialisti potrebbe trattarsi benissimo di una varietà della stessa specie di "Lucy", vissuta durante lo stesso periodo nella medesima regione africana.

Le opinioni circa la reale posizione sistematica delle forme precedentemente descritte divergono in maniera notevole. Stringer è scettico sulla possibilità di considerare *Sahelanthropus* e *Orrorin* tra gli ominini e neppure crede che *Kenyanthropus* rappresenti un genere a sé stante, concedendogli al massimo il rango di una specie separata di *Australopithecus*. Erik Trinkhaus vedrebbe bene riuniti nella stessa forma *Sahe-*

lanthropus, *Orrorin* e *Ardipithecus*. Per parte sua Philip Tobias, sebbene non sia contrario ad includere questi ultimi fra gli ominini, considera tutti gli australopiteci e tutti i parantropi – dei quali dirò tra breve – come semplici sottospecie di *Australopithecus africanus*, in ciò trovandosi d'accordo con Alan Walker.

Passiamo dunque ad esaminare il gruppo delle australopitecine, da cui generalmente si crede e si afferma che sia davvero passato il cammino evolutivo conducente al genere umano.

Il genere umano non rappresenta una prosecuzione della linea australopitecina

Praticamente esclusive del continente africano, le australopitecine vengono oggi suddivise in 9 specie, delle quali 6 sono definite "gracili" e 3 "robuste". Le forme gracili, abitualmente raccolte nel solo genere *Australopithecus* (*Praeanthropus* è riconosciuto solo da pochi specialisti, per quanto autorevoli), popolarono in parte le regioni orientali (Etiopia, Kenya e Tanzania, con i già menzionati *A. anamensis* e *A. afarensis*, e con *A. garhi* Asfaw et al. 1999), in parte l'area centro-settentrionale (Ciad, con *A. bahrelghazali*

Brunet et al. 1995) ed in parte le regioni meridionali (Repubblica Sudafricana, con *A. africanus* Dart 1925 e *A. sediba* Berger et al. 2010). La loro storia è documentata da fossili contenuti in sedimenti databili approssimativamente tra i 4,3 e i 2,3 Ma or sono. Per contro le forme robuste, tutte riferibili al genere *Paranthropus*, risultano essere vissute in tempi più recenti - da 2,6 a 1,4 Ma fa - ed unicamente nelle regioni orientali [Etiopia e Tanzania, con *P. aethiopicus* (Arambourg & Coppens 1968) e *P. boisei* (Leakey 1959)] e meridionali (Malawi e Repubblica Sudafricana, con *P. robustus* Broom 1938).

Nella successione temporale, le specie australopitecine finora conosciute risulterebbero distribuirsi come segue (in Ma or sono): *A. anamensis*: 4,1-4,0; *A. afarensis*: 4,0-3,0; *A. bahrelghazali*: 3,5-3,0; *A. africanus*: 3,0-2,3; *A. garhi*: 2,5; *P. aethiopicus*: 2,6-2,2; *P. boisei*: 2,2-1,5; *P. robustus*: 2,0-1,5; *A. sediba*: 2,0. Se si esclude la taglia, leggermente maggiore, lo scheletro delle forme robuste era praticamente identico a quello delle forme gracili, distinguendosi per lo più a livello craniale per il maggiore sviluppo del corpo e delle branche mandibolari, dei denti giugali e delle arcate zigomatiche (queste salivano molto in avanti e si svasavano all'esterno, conferendo alla faccia una caratteristica concavità), nonché per un marcato restringimento retro-orbitario e una cresta sagittale sopraccraniale fungente da base di attacco per i muscoli della mandibola (Fig. 9). Nell'insieme, la particolare architettura cranio-facciale delle australopitecine robuste può essere interpretata come una specializzazione connessa all'applicazione di grandi forze verticali tra i denti giugali superiori ed inferiori durante la masticazione: un fatto cui si lega il notevole grado di usura generalmente presente sullo smalto dei denti. Il nutrimento di questi animali doveva perciò consistere essenzialmente in semi, noci e, in generale, vegetali più duri e fibrosi di quelli utilizzati dalle forme gracili.

Nel loro aspetto esteriore, tutte le specie del complesso australopitecino dovevano presentarsi molto simili alle attuali scimmie antropoidi, tanto le gracili come gli Scimpanzé (*Pan troglodytes*, *P. paniscus*) quanto le robuste come il Gorilla (*Gorilla gorilla*) (Fig. 10). La morfologia del loro scheletro, comunque,

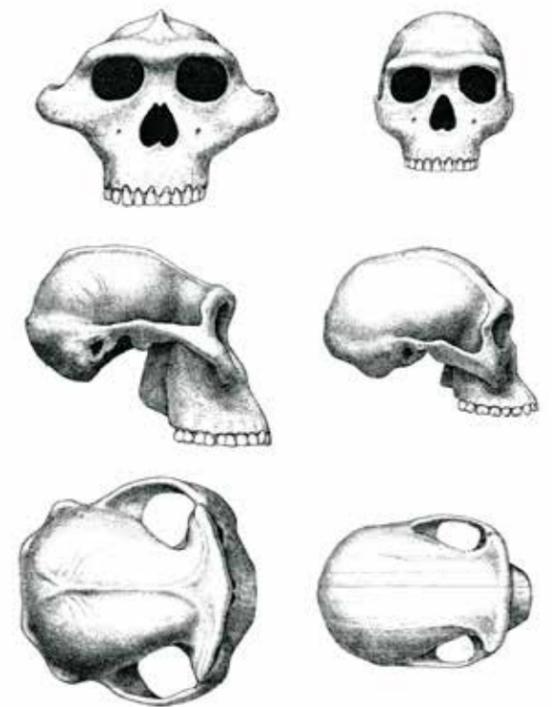


Fig. 9 – Crani ricostruiti di australopitecina "robusta" (a sinistra) e di australopitecina "gracile" (a destra) (da Walker & Leakey, 1978).

non era semplicemente scimmiesca, in quanto presentava anche tratti peculiari associati a caratteristiche sicuramente umanoidi.

Nettamente scimmieschi erano la brevità del loro periodo di sviluppo (Bromage & Dean, 1985), la piccola corporatura (statura e peso oscillavano intorno a 1,2-1,6 m e a 35-60 kg rispettivamente), l'estremo dimorfismo sessuale, la sproporzione degli arti anteriori rispetto ai posteriori, la grande prevalenza del cranio facciale rispetto a quello neurale, il forte prognatismo, la morfologia del cranio osservata in tutte le norme, la forma e la proporzione della mandibola ed il volume ridotto del cervello. Il massimo volume cerebrale misurabile, relativo ad un *A. africanus* di Sterkfontein (Stw 505), è risultato pari a circa 515 cm³ (Conroy et al., 1998).

Caratteri propri delle Australopitecine erano l'enorme spessore della mandibola e l'eccezionale grandezza dei molari e premolari, in genere visibilmente sproporzionati rispetto agli incisivi ed ai canini (Fig. 11). Per contro, erano senz'altro umanoidi

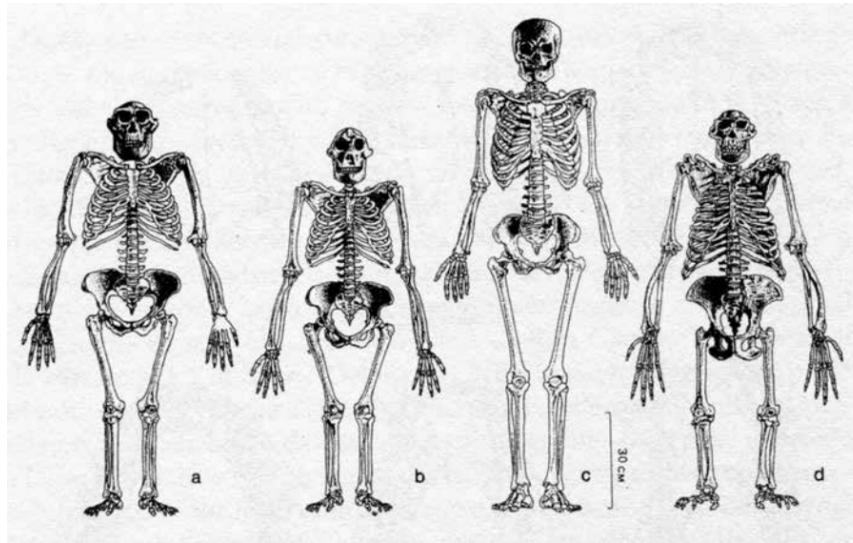


Fig. 10 - Aspetto generale dello scheletro di due forme australopithecine "gracili" comparato con quelli dell'uomo e dello scimpanzé: a) *Australopithecus afarensis*; b) *A. africanus*; c) *Homo sapiens*; d) *Pan troglodytes* (ridisegnato da Gore, 1998).

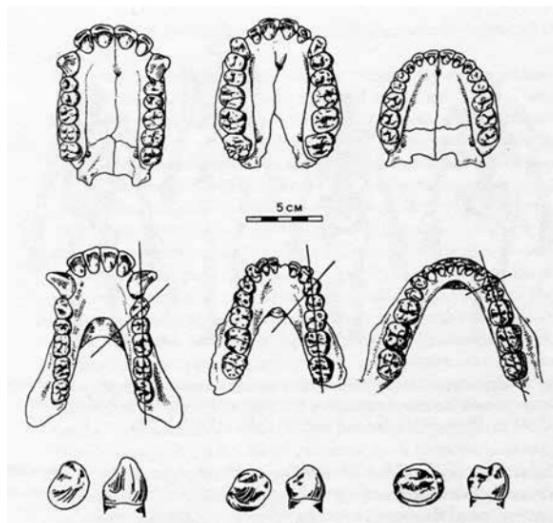


Fig. 11 - Apparato dentario di *Australopithecus afarensis* (figure centrali) comparato con quelli dello scimpanzé (figure a sinistra) e dell'uomo (figure a destra). In alto, serie mascellari; al centro, serie mandibolari; in basso, particolari del primo premolare in norma superiore e laterale (ridisegnati da Klein, 1989).

l'assenza di spazi o diastemi fra gli incisivi e i canini (persistenti tuttavia, seppure in piccola misura, in *A. afarensis*), la limitata lunghezza associata ad una certa divergenza delle branche dentarie mascellari, la forma bicuspidata del primo molare inferiore (Fig. 11) e l'assenza della "spina scimmiesca" nella sinfisi mandibolare. Ma soprattutto colpiscono la forma svasata del bacino (Fig. 10) e la posizione più spostata in avanti del forame occipitale: elementi che

fin dall'inizio hanno condotto ad ipotizzare una postura eretta, o quanto meno pseudo-eretta, ed una deambulazione sul terreno di tipo umano. Questa ipotesi ha avuto piena conferma con il rinvenimento, da parte di Mary Leakey, di una spettacolare serie di orme su un soffice tappeto di cenere vulcanica depositatosi a Laetoli, in Tanzania, intorno ai 3,6 Ma or sono (Fig. 12).

Trentacinque anni fa, in un testo a carattere divulgativo che incontrò grande successo (Johanson & Edey, 1981), "Lucy" fu presentata come la forma ancestrale da cui, verso i 3 Ma or sono, ebbe origine l'umanità. Oggi le cose si presentano sotto una luce notevolmente diversa, in quanto si è acquisita la consapevolezza che l'esistenza degli Ominini in quello stadio così antico fu caratterizzata dalla varietà e da numerosi "esperimenti evolutivi" rivolti in più direzioni. Infatti, disponendo in successione le forme australopithecine finora note in base alla loro età relativa, si può constatare come talvolta le più recenti si presentino morfologicamente più "primitive" di quelle più antiche; per cui non si rimane stupiti se negli "alberi genealogici" proposti dai vari specialisti le biforcazioni tra i vari rami sono contrassegnate da punti interrogativi (Fig. 13).

Una cosa, comunque, è certa: da un punto di vista evolutivistico, le australopithecine non erano affatto incamminate in direzione umana. Le falangi prossimali relativa-



Fig. 12 - Serie di orme australopithecine su una cenere vulcanica litificata della Tanzania risalente a 3,5-3 milioni di anni or sono. La serie di orme visibile in basso a destra fu lasciata dall'equide tridattilo *Hipparion* (da Hay & Leakey, 1982).

mente lunghe ed arcuate della mano, l'inequivocabile forma ad imbuto della gabbia toracica, l'elevato indice omero-femorale e le articolazioni altamente mobili sono più che sufficienti a dimostrarci che le australopithecine univano a proprietà deambulatorie di tipo umano notevoli capacità di arrampicarsi e di sospendersi. E la conclusione che questi animali fossero dotati di un apparato locomotore a carattere misto, cioè terrestre ed arboricolo al medesimo tempo (tesi che viene difesa da oltre 40 anni: cfr. ad es. Genet-Varcin, 1969; Oxnard, 1973, 1975, 1984; Senut, 1980; Susman & Stern, 1979, 1982), è stata definitivamente confermata dal rinvenimento a Sterkfontein, in Sudafrica, del più completo scheletro australopithecino finora noto: StW573 (Fig. 14). Lo scheletro in questione, risalente a 3,6 Ma or sono e studiato da Ronald Clarke e Yvette Deloison, mostra un piede del tutto corrispondente alla

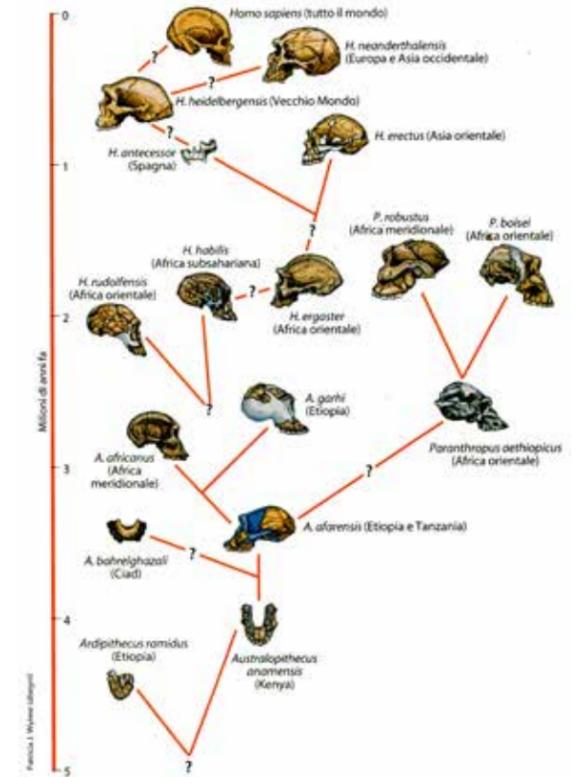


Fig. 13 - Tentativo da parte di Tattersall (2000) di tracciare un albero genealogico della nostra specie. Ne sono evidenti la tortuosità e la problematicità.

ricostruzione del piede australopithecino precedentemente effettuata da questa paleontologa sulla base delle impronte di Laetoli (Deloison, 1985, 1992; Bourdial, 1999): dita molto lunghe e ripiegate alla loro estremità, con le unghie che toccavano il terreno e l'alluce in posizione nettamente distanziata e divergente (Fig. 15). Ancor più di recente, il cranio giovanile completo di *A. afarensis* rinvenuto a Dikika, località etiopica distante pochi chilometri da dove fu scoperta "Lucy" (Fig. 16), ha rivelato alla TAC una struttura dei canali semicircolari dell'orecchio interno corrispondente a quella sia delle attuali scimmie africane che di *A. africanus* (Alemseged *et al.*, 2006).

Riassumendo i dati acquisiti, la Deloison (2013) ne conclude che l'uomo e le australopithecine non possono far parte della medesima linea evolutiva, bensì devono essere visti come rami indipendenti derivati, assieme alle scimmie antropoidi, da un

antenato comune bipede vissuto probabilmente molto prima di 5 Ma or sono: un antenato che, in ogni caso, continua a rimanere sconosciuto. Così, “pur con quelle dozzine di *Australopithecus* fossili che ci vengono dall’Africa orientale e meridionale, l’evoluzione dettagliata del genere ed il suo passaggio a *Homo* rimangono un indovinello e un argomento di speculazione e di controversie”. Questa constatazione di Lowenstein & Zihlman (1987: 49) rimane oggi altrettanto valida come lo era circa 30 anni fa.



Fig. 14 – Cranio di *Australopithecus africanus* (StW573) rinvenuto nel 1995 con il resto dello scheletro quasi completo nella grotta sudafricana di Sterkfontein. Recentemente il reperto è stato datato a 3,6 milioni di anni or sono.



Fig. 15 – Ronald Clarke mostra la ricostruzione del piede di StW573, del tutto coerente con la morfologia delle orme riesumate a Laetoli in Tanzania: dita molto lunghe e ripiegate alla loro estremità, con le unghie che toccavano il terreno, ed alluce in posizione distanziata e divergente.

Homo habilis (s.l.) non era un essere umano

Nel 1963, nel Bed II della gola di Olduvai in Tanzania furono individuati scarsi e frammentatissimi resti di un ominide il cui cranio, una volta ricostruito, sembrava avere una capacità sensibilmente più ampia di quella media delle australopithecine precedentemente descritte: 640 cm³. Quei fossili, d’altra parte, erano associati ad un’industria litica di tipo piuttosto rozzo e poco specializzato che, appunto per questa sua caratteristica, venne considerata corrispondente al più antico livello culturale conosciuto e battezzata “olduvaiana”. Nel 1964 Louis Leakey, Philip Tobias e John Napier, partendo dall’assunzione che soltanto una creatura fondamentalmente umana poteva fabbricare strumenti, assegnarono i nuovi fossili al genere *Homo*, istituendo per essi la specie *H. habilis* e considerandola appunto includente, con ogni probabilità, i nostri più antichi progenitori. Oltre che nella gola di Olduvai, fossili di questa specie sono stati rinvenuti in un certo numero di altre località dell’Africa orientale (Koobi Fora nel Kenya, valle dell’Omo in Etiopia), nonché in Sud Africa (grotte di Swartkrans e Sterkfontein) e perfino, con ogni probabilità, nella regione caucasica (cfr. Gore, 2002). Le datazioni correnti indicano che i più antichi rappresentanti di *H. habilis* comparvero con sicurezza 2,8- 2,75 Ma or sono, mentre i più recenti risalgono a 1,6 Ma or sono.

Proposto da Alexeev nel 1986, il nome specifico *H. rudolfensis* è entrato in uso unicamente negli ultimi 15-20 anni, allorché è stato suggerito che parte dell’ipodigma di *H. habilis* venisse assegnato ad una specie differente, caratterizzata da una taglia più grande e da una faccia e dentizione corrispondenti, sul piano adattativo, alle australopithecine robuste. Specialisti come Chamberlain, Stringer e Wood, i quali hanno riconosciuto la nuova specie, accettano di includervi essenzialmente i fossili rinvenuti in Kenya (non quelli della Tanzania), con in primo piano i ben noti reperti di Koobi Fora nell’area orientale del lago Turkana, indicati con le sigle ER 1470 (Figg. 17, 19), ER 1813 (Figg. 18, 19) ed ER 3735. Per tali specialisti, quindi, *H. rudolfensis* sarebbe finora individuabile soltanto

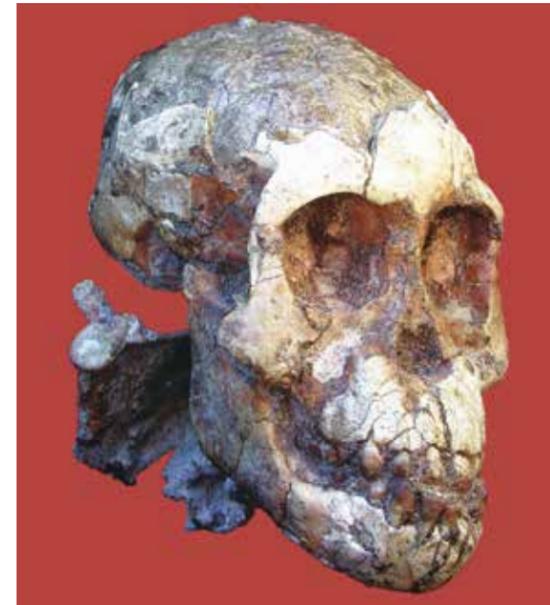


Fig. 16 – Cranio giovanile di *Australopithecus afarensis* rinvenuto nel 2002 a Dikika, località dell’Etiopia poco distante da quella in cui fu trovato lo scheletro privo di cranio completo di “Lucy” (da Wong, 2007).

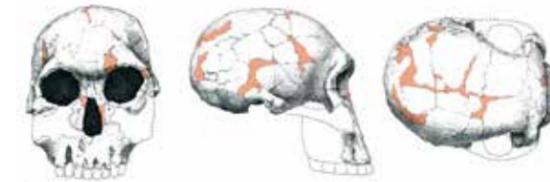


Fig. 17 – Cranio proveniente dall’area kenyota ad est del Lago Turkana ed inventariato con la sigla ER1470. È classificato o come sottospecie di *Homo habilis* Leakey et al. 1964 o come specie a sé stante denominata *Homo rudolfensis* (Alexeev 1986). La capacità cranica, inizialmente stimata di 752 cm³, è stata in seguito ridimensionata prima a 526 e poi a 700 cm³. Età: 1,9 milioni di anni (da Walker & Leakey, 1978).

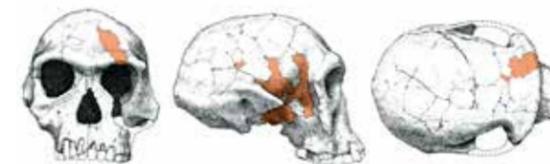


Fig. 18 – Cranio ER1813, egualmente proveniente dall’area kenyota ad est del Lago Turkana e classificato al medesimo modo di ER1470. Capacità cranica stimata: 510 cm³. Età: 1,9 milioni di anni (da Walker & Leakey, 1978).

in sedimenti del Kenya, del Malawi e forse anche dell’Etiopia depositatisi da 2,4 a 1,8 Ma or sono.

Altri autori, come Tobias ed Eric Delson, riconoscono invece un’unica specie altamente variabile,

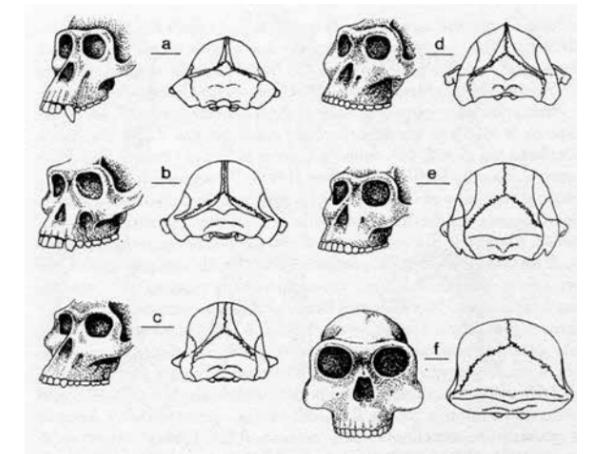


Fig. 19 – Splanchnocranio in norma semi-frontale o frontale e neurocranio in norma occipitale (ricostruiti) dei reperti ER1813 (e) e ER1470 (f), messi in comparazione con i corrispettivi dello scimpanzé (a), di *Australopithecus afarensis* (b), di *A. africanus* (c) e di *Paranthropus robustus* (d) (ridisegnati da Klein, 1989).

indicando tra i resti di Olduvai, accanto ad esemplari corrispondenti all’olotipo di *H. habilis*, OH 7 (Fig. 20), anche esemplari di taglia evidentemente maggiore quale OH 16 (Fig. 21). Gli stessi autori, d’altra parte, fanno notare che i reperti di Koobi Fora ER 1470 ed ER 1813 sono fondamentalmente simili a livello del neurocranio, mentre in tutto il resto presentano differenze che, quantunque siano più accentuate di quelle riscontrabili fra i crani maschili e femminili dell’Uomo, dello Scimpanzé e del Gorilla, non lo sono affatto, ad esempio, nei confronti di quelli maschile e femminile dell’Orango.

Secondo Leakey, Tobias e Napier, i caratteri distintivi di *H. habilis* s.l. sarebbero i seguenti: capacità cranica superiore a quella delle Australopithecine ma inferiore a quella di *H. erectus*; creste della muscolatura da deboli a forti; mascelle e mandibole più piccole di quelle delle Australopithecine; mento sfuggente; incisivi relativamente grandi rispetto sia agli Australopiteci che ad *H. erectus*; canini proporzionalmente grandi rispetto ai premolari; premolari più stretti di quelli delle Australopithecine; curvatura dell’occipitale più blanda di quella degli Australopiteci e di *H. erectus*. A molti autorevoli specialisti (Bernard Campbell, Wilfrid Le Gros Clark, Pierre-Paul Grassé, Kenneth Oakley, David Pilbeam, Elwyn Simons, Clark Howell, John Ro-

binson, Loring Brace), comunque, questi caratteri sono sembrati fin dall'inizio tutt'altro che sufficienti a giustificare una separazione dei fossili di Olduvai da quelli australopitecini al punto da richiedere un genere nuovo, e addirittura quello umano. Lo stesso Tobias ammise esplicitamente questo fatto in un convegno di paleoantropologia tenutosi a Torino: "Per ben quindici anni dopo che la specie fu creata, la quasi maggioranza degli specialisti in materia non accettò *Homo habilis* come specie legittima... Solamente negli ultimi otto anni il nuovo paradigma creato dal nostro riconoscimento di *Homo habilis* ha raggiunto un'ampia, se non addirittura unanime, accettazione" (Tobias, 1989: 4).

Tornerò alla fine dell'articolo sul "paradigma" cui allude Tobias; certo è che, nonostante le affermazioni di quest'ultimo, la stessa esistenza di *H. habilis* quale genere distinto dagli australopiteci non può non rimanere dubbia. "Alcuni rinvenimenti attribuiti a *Homo habilis* sono autentici Australopiteci. Ciò vale per i crani OH 7, OH 13, OH 24, rinvenuti a Olduvai Gorge. Più complessa è la questione per i crani KNM-ER 1813 e KNM-ER 1470, sia per qualche diversità morfologica, sia per i gravi dubbi che suscita la ricostruzione fattane... Gli Autori sono divisi. La maggioranza li ritiene Australopiteci più evoluti." (Marcozzi & Cesare, 1983: 125). In effetti, non può essere dimenticato che il famoso cranio ER 1470 "era disperso in numerosi frammenti, minuti come l'unghia d'un uomo. Se ne raccolsero più di 300. Nel primo giorno se ne misero insieme più d'una trentina, racconta Richard E. Leakey (1973). Il progresso fu lento e ogni giorno si aggiungevano nuovi pezzi. La ricostruzione fu fatta dalla signora Meave Leakey, moglie di Richard, assistita da Wood. Al termine di 6 settimane la ricostruzione era compiuta. L'aspetto era di un cranio di Ominide piuttosto evoluto, dalla capacità cranica, misurata da Walker, di 810 cm³ (in seguito questa capacità fu ridimensionata e valutata da 750 a 770 cm³). Per la morfologia, sembrava più simile a *Homo sapiens* che a *Homo erectus*, perché il *torus supraorbitalis* è poco sviluppato, la fronte non sfuggente, i rilievi per le inserzioni muscolari, deboli; il restringimento postorbitario, moderato. Presenta anche caratteri degli Australopiteci, come il palato



Fig. 20 – Resti ominini provenienti dalla Gola di Olduvai in Tanzania, inventariati con la sigla OH7, che costituiscono l'olotipo o esemplare di riferimento di *Homo habilis* Leakey et al. 1964. Volume cerebrale stimato: 680 cm³. Età: 1,8 milioni di anni.



Fig. 21 – Calotta cranica egualmente proveniente dalla Gola di Olduvai (OH16) e classificata come *Homo habilis*. Apparteneva ad un cranio completo, che però fu frantumato dal bestiame dei Masai prima del suo recupero. Capacità cranica stimata: 640 cm³. Età: 1,7 milioni di anni.

poco profondo con bordo labiale quasi diritto, ed ha caratteri propri. Il mascellare e la regione facciale è dissimile da qualsiasi Ominide finora noto, osservava R.E.F. Leakey" (Marcozzi & Cesare, 1983: 116-117). A proposito del medesimo reperto, d'altra parte, è stato fatto notare che "quando esso fu ricostruito la

prima volta, la faccia venne adattata al cranio con una posizione quasi verticale assai simile alle facce appiattite degli esseri umani attuali. Recenti studi di relazione anatomica, comunque, mostrano che in vita la faccia doveva sporgere considerevolmente in avanti, assumendo un aspetto scimmiesco appunto come le facce di *Australopithecus*" (Bromage, 1992: 41; Bromage et al., 2008).

Rimane infine da considerare lo scheletro postcraniale di *H. habilis*, che cominciò ad essere conosciuto a partire dai rinvenimenti effettuati da Johanson e dalla sua *équipe* nella gola di Olduvai (Johanson et al., 1987; Wood, 1987). A proposito di tali rinvenimenti, che includevano porzioni di braccio destro e di entrambe le gambe associate ad ossa craniche frammentarie e a denti di adulto o adulti, così si esprimeva Klein: "Le ossa delle gambe confermano il bipedismo ma, in contrasto con ciò che si attendeva, indicano statura molto piccola: un individuo probabilmente di appena un metro, forse addirittura più basso del più piccolo australopiteco noto (la famosa "Lucy", *Australopithecus afarensis*). Inoltre le braccia appaiono notevolmente lunghe rispetto alle gambe, forse anche più lunghe che in "Lucy". Insieme alla mano OH 7 (assegnata al medesimo individuo olotipico del cranio indicato con la stessa sigla: ndr), implicante un'abilità 'scimmiesca' nel sospendersi ai rami, le lunghe braccia fanno pensare che *H. habilis* avesse la stessa agilità arboricola degli australopiteci" (1989: 122). E alle stesse conclusioni giungono 18 anni dopo Haeusler & McHenry (2007): "In contrasto con la visione corrente, noi concludiamo che A.L. 288-1 (cioè "Lucy": ndr) aveva un avambraccio corto di tipo umano, mentre KNM-ER 3735 (cioè *Homo habilis*: ndr) possedeva un avambraccio sensibilmente più lungo e una cintura scapolare più potente. Questa interpretazione è in accordo con conclusioni precedenti le quali suggerivano per *Homo habilis* proporzioni omero-femorali simili a quelle dell'uomo ma proporzioni brachiali simili a quelle dello scimpanzé. Così, lo scenario di un cambiamento unidirezionale e progressivo delle proporzioni degli arti nell'ambito della linea di discendenza ominide non è supportato dal nostro lavoro."

Da tutto quanto precede, dunque, sembra che si debba giungere ad un'unica conclusione, peraltro già chiaramente delineata da Wood & Collard (1999). Secondo questi autori, è lecito e ragionevole includere una determinata specie fossile nel genere *Homo* unicamente quando questa: a) risulti più strettamente assegnabile ad *H. sapiens* di quanto non lo sia agli australopiteci;

b) rifletta una massa corporea più simile a quella di *H. sapiens* che a quella degli australopiteci;

c) mostri proporzioni corporee corrispondenti più a quelle di *H. sapiens* che a quelle degli australopiteci;

d) riveli a livello postcraniale una struttura di tipo umano, cioè compatibile con una piena attività deambulatoria ed una limitata capacità di arrampicarsi e di sospendersi;

e) abbia denti e mascelle più simili, in termini di taglia relativa, a quelli degli esseri umani moderni che a quelli degli australopiteci;

f) denoti un periodo di crescita e di sviluppo paragonabile a quello dell'uomo.

È soltanto quando siano rispettati tutti insieme i criteri sopra elencati, che il genere *Homo* può mantenere il suo pieno significato dal lato biosistemico. In tal caso, comunque, ci si rende conto che le specie fino ad oggi generalmente assegnate a questo genere *NON* formano un gruppo omogeneo nel senso ora indicato; e poiché la disomogeneità è dovuta alla presenza nel gruppo di *H. habilis s.s.* e di *H. rudolfensis* (o, per chi non accetta *H. rudolfensis*, *H. habilis s.l.*), Wood e Collard propongono di rimuovere senz'altro queste due specie per accostarle o trasferirle al complesso australopitecino. "Non vi sono ragioni solide per continuare ad includere questi taxa in *Homo*", scrivevano Wood & Brooks nel 1999. E quindici anni dopo Wood torna a ribadire la stessa convinzione:

"Sebbene *H. habilis* sia di corporatura generalmente maggiore di *A. africanus*, i suoi denti e le sue mandibole hanno le stesse proporzioni. Per quanto vi siano scarse evidenze relative alla forma del corpo, le mani e i piedi suggeriscono che *H. habilis* sia stato molto più un arrampicatore che un indiscutibile antenato dell'uomo. Così, se *H. habilis* viene aggregato

a *Homo*, questo genere diventa un incoerente guazzabuglio di peculiarità. Altri non sono d'accordo, ma io penso che per giungere a qualsiasi altra conclusione si debbano presentare selettivamente i dati. La mia sensazione è che l'uomo abile debba appartenere al suo proprio genere, né australopitecino né umano. (...) A mio modo di vedere, la specie è troppo differente da *H. erectus* per essere il suo immediato progenitore, per cui un modello semplice e lineare che spieghi questo stadio dell'evoluzione umana appare sempre meno probabile.” (Wood, 2014b).

Le medesime argomentazioni possono valere, sia per una parte dei fossili di Dmanisi [oltre alle evidenze del cranio completo D4500/D2600 (Fig. 22), si considerino quelle relative ai reperti postcraniali forniti da Lordkipanidze *et al.* (2007), nonché gli appunti critici di Wood (2014b) concernenti il modo in cui è stato effettuato lo studio degli ominini georgiani da parte del *team* dei loro scopritori], dove *Homo habilis* era presente insieme a reperti anatomici ed industriali sicuramente umani, sia al sudafricano *Homo naledi* (Berger *et al.*, 2015; Wong, 2012, 2016), che inequivocabilmente aveva braccia da primate arrampicatore.

Sul significato degli strumenti litici rinvenuti associati a *Homo habilis* s.l.

Prima di chiudere la questione dell'*Homo habilis*, è opportuno riesaminare il “paradigma” a cui alludeva Tobias. Questo consisterebbe nell'ammettere che la capacità di costruire strumenti litici sia comparsa *prima* – e non in coincidenza, o subito dopo – della ramificazione dell'ipotetica linea evolutiva che da *Australopithecus* avrebbe portato ad *Homo*. “Vista sotto questa nuova luce – scriveva Tobias – la cultura, così come riflessa nelle sue fasi iniziali di fabbricazione di strumenti litici, svolge un ruolo importante, forse cruciale, all'interno della genesi del genere *Homo* e della sua più importante specie, *Homo habilis*. Questa sorprendente conclusione fornisce un'inaspettata conferma all'ipotesi di Engels che ‘il lavoro ha creato l'uomo’ e alla rielaborazione di un antico concetto da parte di Woo-Ju-Kang



Fig. 22 – I cinque crani finora rinvenuti a Dmanisi in Georgia sono stati indistintamente assegnati dal *team* dei loro scopritori all'unica specie *Homo erectus* (Dubois 1894); tuttavia quello siglato D4500 (qui associato con la mandibola D2600) presenta indubbe concordanze con l'africano *Homo rudolfensis*. Capacità cranica: 546 cm³. Età: 1,8 milioni di anni.

(un paleoantropologo della Repubblica Popolare Cinese: ndr): ‘L'uomo si formò quando i suoi antenati pre-umani iniziarono a fabbricare strumenti’. L'interpretazione qui presentata, per la prima volta trasforma l'antica metafora in un'ipotesi scientifica” (1989: 10-11).

Ma siamo davvero obbligati a giungere a questa conclusione? O invece non sarà più costruttivo rimanere aperti ad altre possibili interpretazioni?

“Fin dal momento della sua identificazione e definizione tassonomica”, dichiarava Marcello Piperno al medesimo convegno torinese cui partecipava Tobias, “*Homo habilis* fu considerato *the right man in the right place*: sufficientemente antico e con statura eretta, con sufficiente capacità encefalica, sufficientemente carnivoro e manualmente abile da permetterci di risolvere un gran numero di questioni archeologiche relative al Periodo delle Origini. In realtà la documentazione archeologica scoperta successivamente in altri siti africani plio-pleistocenici ha solo in parte confermato quanto osservato a Olduvai e talvolta ha suggerito interpretazioni teoriche sull'evoluzione culturale del Periodo delle Origini diverse da quelle proposte per Olduvai” (1989: 57).

Premesso questo, Piperno faceva notare come l'uso di strumenti litici abbia un'origine ancora più antica di quello riscontrato nei Beds di Olduvai, rimontando ad almeno 3,0 Ma or sono. Ben più di 1 milione di anni prima di qualsiasi sicuro resto fossile di *H. habilis*, insomma, esistevano già pietre scheggiate (i paleoantropologi del XIX secolo le chiamavano “coliti”); ma queste erano notevolmente più disordinate ed occasionali di quelle propriamente olduvaiane, la cui maggiore abbondanza, diversificazione e standardizzazione tipologica iniziano a comparire intorno ai 2,6-2,5 Ma fa, sia in Africa (a Gona, a Hadar e nella valle dell'Omo in Etiopia, come pure in Kenya nel bacino del Turkana) che in Asia (a Renzidong nella provincia cinese orientale di Anhui: cfr. Ciochon & Larick, 2000), per acquistare tuttavia ampia diffusione soltanto dopo i 2,0 Ma or sono: *cioè dopo la comparsa dei primi resti anatomici di sicuri esseri umani*.

È pertanto assai difficile non collegare a questo grande evento biologico tutto ciò che l'esistenza stessa di un'industria – sia pure semplice come quella olduvaiana primitiva – deve comportare: cioè una struttura sociale sufficientemente complessa da modificare intenzionalmente le proprie aree di attività (ricerca dei materiali litici più idonei per fabbricare strumenti, capacità di produrre schegge dal bordo tagliente per spezzare vegetali e macellare prede o carogne, ecc.) e, con ogni probabilità, in grado di utilizzare il fuoco.

Inoltre, sebbene la contemporaneità di *H. habilis* con l'industria olduvaiana sia stata confermata da successivi ritrovamenti in altre località, è inesatto ritenere che vi sia una connessione necessaria ed obbligatoria tra i fossili di tale ominide e la suddetta industria. A Swartkrans, ad esempio, questa industria è stata rinvenuta assieme a resti di uomo vero (*H. erectus* o, come alcuni ritengono più corretto, *H. ergaster*); e la medesima situazione è presente a Koobi Fora e a Dmanisi. Va anche precisato che dallo studio del I metacarpo e delle relative falangi di *Paranthropus* – egualmente presente a Swartkrans e a Koobi Fora – è risultato che questo australopiteco robusto possedeva il muscolo *flexor pollicis longus* ed era perciò in grado di opporre il pollice alle altre

dita esattamente come nell'uomo (Susman & Stern, 1979, 1982; Shipman, 1989).

È significativo che negli ultimi decenni la datazione dei primi esseri umani sia stata spostata sempre più all'indietro nel tempo: tanto che l'intervallo cronologico da essi occupato è giunto a sovrapporsi a quello di *H. habilis* (*s.s.*) e tende ad avvicinarsi sempre più ai limiti stessi dell'Olduvaiano. È recente, infatti, la datazione a 2,4 Ma fa dei letti di Chemeron presso il lago Baringo, nei quali fin dal 1965 sono stati rinvenuti resti assai frammentari che sembrano veramente essere umani. Lo stesso sembra possa dirsi per reperti analoghi e più o meno coevi provenienti da Hadar e dalla Valle dell'Omo in Etiopia e da Uraha nel Malawi. E poiché più volte è stata provata la diretta associazione di fossili sicuramente umani con strumenti olduvaiani, non sorprende che vari autori considerino ormai l'industria più propriamente caratteristica dei primi veri *Homo*, l'Acheuleano, che iniziò circa 1,5 Ma or sono, come niente più che un naturale sviluppo di quella olduvaiana.

Una prima conclusione

Che cosa concludere dall'analisi precedente?

Se quanto finora ho argomentato è corretto e se si condividono i criteri proposti da Wood e Colvard per l'assegnazione di resti di primati al genere *Homo*, nessuno tra i fossili esaminati può essere considerato quale nostro diretto progenitore.

“L'origine di *Homo*”, scrive Kate Wong, *senior editor* della prestigiosa e ben nota rivista *Scientific American*, “è forse il massimo mistero irrisolto dell'evoluzione umana, perché i fossili di transizione tra australopitechi con ancora molti tratti simili a quelli delle grandi scimmie, e i successivi rappresentanti del genere *Homo*, dalla struttura corporea moderna, sono estremamente rari e consistono per la maggior parte in semplici frammenti.” (2016: 57).

Il mistero continua a rimanere irrisolto, in quanto nella documentazione paleontologica l'unico ipodigma classificabile come umano, ossia quello relativo al complesso *ergaster-erectus-heidelbergensis-antecessor-neanderthalensis-sapiens*, rappresenta

di per se stesso un'evidente soluzione di continuità nel quadro di una sua ipotetica derivazione dal complesso australopitecino: discontinuità che nemmeno gli ultimi rinvenimenti fanno cenno di poter iniziare a colmare.

Testi citati e consultati

- Aiello L.C. & Collard M. (2001) – *Our newest oldest ancestor?* Nature, 410: 526-527.
- Alemseged Z., Spoor F., Kimbel W.H., Bobe R., Geraads D., Reed D. & Wynn J.G. (2006) – *A juvenile early hominin skeleton from Dikika, Ethiopia*. Nature, 443: 296-301.
- Berger L.R., Hawks J., de Ruiter D.J., Churchill S.E., Schmid P., Deleuzene L.K., Kivell T.L., Garvin H.M., Williams S.A., DeSilva J.M., Skinner M.M., Musiba C.M., Cameron N., Holliday T.W., Harcourt-Smith W., Ackermann R.R., Bastir M., Bogin B., Bolter D., Brophy J., Cofran Z.D., Congdon K.A., Deane A.S., Dembo M., Drapeau M., Elliott M.C., Feuerriegel E.M., Garcia-Martinez D., Green D.J., Gurtov A., Irish J.D., Kruger A., Laird M.F., Marchi D., Meyer M.R., Nalla S., Negash E.W., Orr C.M., Radovic D., Schroeder L., Scott J.E., Throckmorton Z., Tocheri M.W., VanSickle C., Wei P. & Zipfel B. (2015) – *Homo naledi, a new species of the genus Homo from the Dinaledi Chamber, South Africa*. eLife, 09560.
- Bourdial I. (1999) – *Adieu Lucy. Des découvertes remettent en cause nos origines*. Science & Vie, 980: 52-62.
- Bromage T. (1992) – *Faces from the past*. New Scientist, 11 Jan., 38-41.
- Bromage T.G. & Dean M.C. (1985) – *Re-evaluation of the age at death of immature fossil hominids*. Nature, 317: 525-527.
- Bromage T.G., McMahon J., Thackeray J.F., Kullmer O., Hogg R., Rosenberger A.L., Schrenk F. & Enlow D.H. (2008) – *Craniofacial architectural constraints and their importance for reconstructing the early Homo skull KNM-ER 1470*. The Journal of Clinical Pediatric Dentistry, 33 (1): 43-54.
- Brunet M., Guy F., Pilbeam D., Mackaye H.T., Andossa L., Aouunta D., Beauvilain A., Blondel C., Bocherens H., Boisserie J.-R., De Bonis L., Coppens Y., Dejax J., Denys C., Düringer P., Eisenmann V., Fanone G., Fronty P., Geraads D., Lehmann T., Lihoreau F., Louchart A., Mahamat A., Merceron G., Mouchelin G., Otero O., Pelaez Campomanes P., Ponce De Leon M., Rage J.-C., Sapanet M., Schuster M., Sudre J., Tassy P., Valentin X., Vignaud P., Viriot L., Zazzo A. & Zollikofer C. (2002) – *A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa*. Nature, 418: 145-151.
- Brunet M. et al. (2002) – *Reply to Wolpoff et al.* Nature, 419: 582.

Obiettivo di un prossimo articolo sarà pertanto quello di sottoporre a revisione il vero ipodigma umano per cercare di stabilirne il grado di omogeneità: ovvero per stabilire *se e in quante specie* sia realmente fondato suddividerlo.

- Cartmill M. (1997) – *The third man*. Discover, 18 (9): 56-62.
- Ciochon R. & Larick R. (2000) – *Early Homo erectus tools in China*. Archaeology, 53 (1).
- Conroy G.C., Weber G.W., Seidler H., Tobias P.V., Kane A. & Brunson B. (1998) – *Endocranial capacity in an early hominid cranium from Sterkfontein, South Africa*. Science, 280, 12 June, 1730- 1731.
- Coon C. S. (1962) – *The origin of races*. Knopf, New York (tr. it.: L'origine delle razze, Bompiani, Milano 1970).
- Deloison Y. (1985) – *Le pied des Australopithèques*. Dossiers Histoire et Archéologie, 90: 24-28.
- Deloison Y. (1992) – *Empreintes de pas à Laetoli (Tanzanie). Leur apport à une meilleure connaissance de la locomotion des Homini-dés fossiles*. C. R. Acad. Sci. Paris, 315, Sér. II, 103-109.
- Deloison Y. (2013) – *La préhistoire du piéton. Les origines de l'homme basées sur l'anatomie comparée des hominoïdes*. Avenir des Sciences Editeur, Parigi.
- Genet-Varcin E. (1969) – *Structures et comportement des Australopithèques d'après certains os post-cranien*. Annales de Paléontologie (Vert.), 55 (1): 139-148.
- Gore R. (1998) – *Primi passi nel mondo*. National Geographic (It.), 1(1): 84-109.
- Gould S.J. (1999) – *Scale e con: l'evoluzione ingabbiata dalle immagini canoniche*. In: Silvers R.B. (ed.), *Storie segrete della scienza*, 49-81, Mondadori, Milano.
- Haeusler M. & McHenry H.M. (2007) – *Evolutionary reversals of limb proportions in early hominids? Evidence from KNM-ER 3735 (Homo habilis)*. Journal of Human Evolution, 53 (4): 383- 405.
- Harmon K. (2013) – *Frammenti di antenati*. Le Scienze, 536: 48-55.
- Hay R.L. & Leakey M.D. (1982) – *Le orme fossili di Laetoli*. Le Scienze, 164: 32-39.
- Johanson D. C. & Edey M. A. (1981) – *Lucy: the Beginnings of Humankind*. (tr. it.: *Lucy: le origini dell'umanità*, Mondadori, Milano 1981).
- Johanson D.C., Masao F.T., Eck G.G., White T.D., Walter R.C., Kimbel W.H., Asfaw B., Manega P., Ndessokia P. & Suwa G. (1987) – *New partial skeleton of Homo habilis from Olduvai Gorge, Tanzania*. Nature, 327, 205-209.
- Klein R.G. (1989) – *The human career: human biological and cultural origins*. The University of Chicago Press, Chicago/London (tr. it.: *Il cammino dell'uomo: Antropologia culturale e biologica*, Zanichelli, Bologna 1995).

- Leakey M. & Walker A. (1997) – *I più antichi fossili di ominidi africani*. Le Scienze, 349: 92-97.
- Lowenstein J.M. & Zihlman A. (1987) – *Il posto dell'australopiteco nell'evoluzione umana. L'umana avventura*. Jaca Book, Milano autunno, 49-51.
- Marcozzi V. & Cesare B.M. (1983) – *Australopithecus e Homo habilis (Cranio e mandibola). Osservazioni antropologiche*. Seminario di Scienze Antropologiche, 5: 91-129.
- Oxnard C.E. (1973) – *Form and pattern in human evolution: Some mathematical, physical and engineering approaches*. The University of Chicago Press, Chicago/London.
- Oxnard C.E. (1975) – *Uniqueness and diversity in human evolution: Morphometric studies of Australopithecines*. The University of Chicago Press, Chicago/London.
- Oxnard C.E. (1984) – *The order of man: A biomathematical anatomy of the Primates*. Yale University Press, New Haven.
- Pickford M., Senut B., Gommercy D. & Treil J. (2002) – *Bipedalism in Orrorin tugenensis revealed by its femora*. Comptes Rendus: Palevol, 1 (1): 1-13.
- Piperno M. (1989) – *Correlazioni cronostigrafiche e culturali fra i siti coevi a Homo habilis*. In: Giacobini G. (ed.) *L'evoluzione del genere Homo*. Jaca Book, Milano, 3-15; 17-21.
- Senut B. (1980) – *New data on the humerus and its joints in Plio-Pleistocene hominids*. Colloques de Anthropologie, 4, p. 87.
- Shipman P. (1989) – *The gripping story of Paranthropus*. Discover, 10 (4): 66-71.
- Shreeve J. (2015) – *Un uomo misterioso*. National Geographic (It.), 36 (4): 2-25.
- Susman R.L. & Stern J.T. (1979) – *Telemetered electromyography of flexor digitorum profundus and flexor digitorum superficialis in Pan troglodytes and implications for interpretation of the OH 7 hand*. American Journal of Physical Anthropology, 50, 565-574.
- Susman R.L. & Stern J.T. (1982) – *Functional morphology of Homo habilis*. Science, 217: 931.
- Tattersall I. (1998) – *Becoming Human* (tr. it.: *Il cammino dell'uomo*, Garzanti, Milano).
- Thorne A. & Wolpoff M. (1992) – *Un'evoluzione multiregionale*. Le Scienze, 286: 22-27.

- Tobias P.V. (1989) – *Homo habilis: stato attuale delle conoscenze e della problematica / La graduale accettazione di Homo habilis*. In: Giacobini G. (ed.), *L'evoluzione del genere Homo*. Jaca Book, Milano, 3-15; 17-21.
- Walker A. & Leakey R.E.F. (1978) – *Gli ominidi del Turkana orientale*. Le Scienze, 122: 19-29.
- Weidenreich F. (1946) – *Apes, giants, and man*. University of Chicago Press, Chicago.
- White T.D., Suwa G. & Asfaw B. (1994) – *Australopithecus ramidus, a new species of early hominid from Aramis, Ethiopia*. Nature, 371, 22 Sept.: 306-313.
- White T. (2003) – *Early hominids: diversity or distortion?* Science, 299: 1994-1996.
- Wolpoff M. (1998) – *Concocting a divisive theory*. Evolutionary Anthropology, 7: 1
- Wolpoff M. & Caspari R. (1996) – *Race and human evolution: a fatal attraction*. Simon & Schuster, London.
- Wolpoff M., Senut B., Pickford M. & Hawks J. (2002) – *Sahelanthropus or 'Sahelpithecus'?* Nature, 419: 581-582.
- Wong K. (2007) – *La piccola Lucy*. Le Scienze, 462: 48-55.
- Wong K. (2012) – *Il primo del nostro genere*. Le Scienze, 526: 38-47.
- Wong K. (2016) – *Misterioso e umano*. Le Scienze, 573: 52-61.
- Wood B. (1976) – *The evolution of early Man*. Eurobook Ltd. (tr. it.: *Evoluzione del primo uomo*, Vallardi Industrie Grafiche, Milano).
- Wood B. (1987) – *Who is the "real" Homo habilis?* Nature, 327: 188-189.
- Wood B. (1992) – *Origin and evolution of the genus Homo*. Nature, 355: 783-790.
- Wood B. (2014a) – *Benvenuti in famiglia*. Le Scienze, 555: 44-49.
- Wood B. (2014b) – *Human evolution: fifty years after Homo habilis*. Nature, 508: 31-33.
- Wood B. & Brooks A. (1999) – *We are what we ate*. Nature, 400: 219-220.
- Wood B. & Collard M. (1999) – *The Human Genus*. Science, 284: 65-72.

Terremoti avvenuti in Appennino centrale nel periodo Agosto-Ottobre 2016: un chiaro esempio di come le attuali carte di pericolosità sismica sottovalutano il problema

Enzo Mantovani¹, Marcello Viti¹, Daniele Babucci¹, Caterina Tamburelli¹, Nicola Cenni²

¹ Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Laterina 8, 53100 Siena.

² Università di Bologna, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Viale Berti Pichat 8, 40127 Bologna.

Le attuali carte di pericolosità in Italia sono basate sullo studio della sismicità passata condotto con metodologie statistiche (Cornell, 1968; McGuire, 1978). In vari articoli (si vedano, ad esempio, Viti *et al.*, 2009 e Mantovani *et al.*, 2012, 2013, 2014a, 2014b), il gruppo di ricerca geofisica che fa capo al Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente (DSFTA) dell'Università di Siena ha sottolineato che i risultati ottenuti da tale tipo di approccio possono portare a significative sottovalutazioni della pericolosità.

Il caso più clamoroso è fornito dalle mappe di pericolosità delle regioni Umbria e Marche (Fig.1), le quali prevedono per una larga parte del territorio una probabilità molto bassa (<10%) che nei prossimi 50 anni si verifichino scosse con un'intensità superiore al valore VIII della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Questa previsione, infatti, sembra poco realistica dato che le due regioni - come mostrato in figura 1 - sono state colpite in passato da numerose scosse con intensità IX, X e anche XI della scala MCS.

Non è facile capire come l'uso di algoritmi statistici, per quanto sofisticati (PSHA, Gomez Capera *et al.*, 2010; Stucchi *et al.*, 2011), consenta di escludere che eventi accaduti molte volte in passato si possano ripetere nei prossimi 50 anni. Questo dubbio si rinforza se si considera che le assunzioni adottate dalle metodologie statistiche non sono compatibili con la natura dei terremoti (Mantovani *et al.*, 2012, 2013, 2014a,b). A questo riguardo, la letteratura riporta i pronunciamenti di numerosi esperti che evidenziano gravi incongruenze nel metodo probabilistico

utilizzato per elaborare le attuali carte di pericolosità sismica (si vedano, ad esempio: Mulargia & Geller (eds.), 2003; Stein *et al.*, 2012; Rugarli, 2014; Geller *et al.*, 2015; Panza & Peresan, 2016).

La possibilità che le carte vigenti possano comportare gravi sottovalutazioni della pericolosità sismica è già stata presa in considerazione dalla

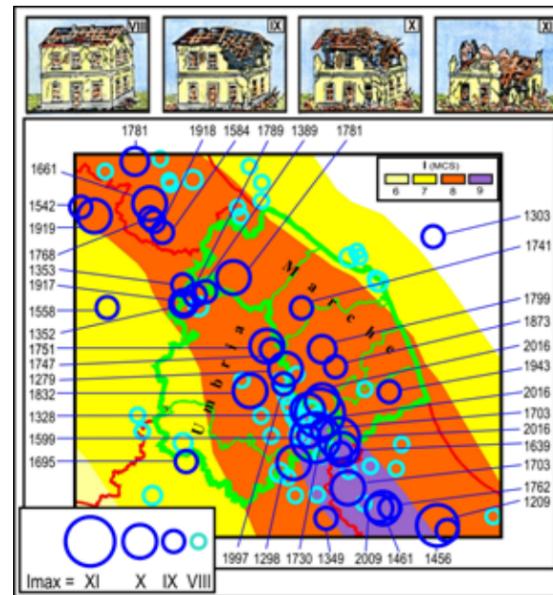


Fig. 1 - Distribuzione delle intensità massime (Imax) previste dalla carta ottenuta con la stessa procedura probabilistica usata attualmente per le stime ufficiali di pericolosità sismica in Italia (PSHA, Gomez Capera *et al.*, 2010). Ogni colore è associato al valore dell'intensità (espresso come grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg, MCS) che si ritiene abbia una probabilità inferiore al 10% di essere superata nei prossimi 50 anni. I cerchi indicano i principali terremoti avvenuti dall'anno 1000. L'anno di occorrenza è indicato solo per le scosse con Intensità ³ IX. In alto sono indicati i danneggiamenti riscontrabili in un edificio di buona costruzione per gradi di intensità superiori a VII.

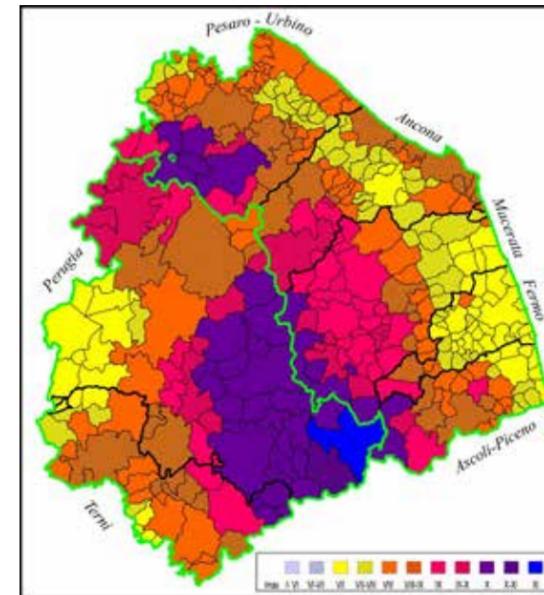


Fig. 2 - Carta delle intensità massime attese per ogni comune delle Marche e dell'Umbria (Mantovani *et al.*, 2014b). I colori corrispondono a valori di Imax nella scala MCS, come indicato in fondo alla figura.

Regione Toscana e dalla Regione dell'Emilia-Romagna, le quali, di conseguenza, hanno opportunamente promosso indagini per l'acquisizione di stime più realistiche da parte del nostro gruppo di ricerca (DSFTA dell'Università di Siena). I risultati ottenuti sono stati descritti in alcune estese ed articolate pubblicazioni (Mantovani *et al.*, 2012, 2013). Le analisi svolte sono partite dal presupposto che se una zona ha subito scosse di una certa intensità è opportuno considerare la possibilità che tali scosse si ripetano in qualsiasi momento. Questo implica che le caratteristiche degli edifici nuovi e del patrimonio edilizio esistente devono essere per lo meno adeguate agli scuotimenti subiti in passato.

Gli importanti risultati ottenuti per Toscana ed Emilia-Romagna hanno suggerito di estendere all'Umbria e alle Marche la medesima metodologia. La carta finale risultante da questo studio (Mantovani *et al.*, 2014b) è mostrata nella figura 2.

Il merito principale di questa carta è quello di fornire un'informazione attendibile sui danni attesi in ogni comune, ricavata da un'analisi non fuorviante della storia sismica (Tab. 1) e delle conoscenze disponibili sull'assetto tettonico.

Al contrario, la carta di pericolosità attualmente in vigore (Fig.1), essendo basata su procedure probabilistiche, offre un quadro ipotetico non fedele ai dati originali e fortemente condizionato dalla convinzione arbitraria che si possa valutare la probabilità delle scosse future. Il risultato finale di tale procedura prevede che per molti comuni delle due regioni le intensità previste con alta probabilità sono sensibilmente più basse di quelle avvenute ripetutamente in passato. Per cui sembra molto imprudente impostare la politica di difesa dai terremoti su una previsione così ottimistica e poco realistica. Questa preoccupazione ha dimostrato la sua fondatezza per quanto è successo nell'Appennino centrale nel periodo Agosto-Ottobre del 2016, in seguito a scosse che hanno raggiunto intensità di X e X-XI (Galli *et al.*, 2016). Tali livelli di intensità macrosismica sono in accordo con i valori previsti dalle carte di pericolosità elaborate da Mantovani *et al.* (2014b), che suggeriscono un'intensità massima pari ad XI MCS per il comune di Norcia e X per i comuni di Arquata del Tronto, Castelsantangelo sul Nera, Preci e Visso.

Un'ulteriore, importante informazione su questo aspetto è fornita dai dati acquisiti dalla rete accelerometrica gestita dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC), che mettono in evidenza una cospicua differenza tra i livelli di scuotimento del terreno previsti dalle carte ufficiali e quelli osservati. In particolare, i dati disponibili (ReLUI-INGV Workgroup, 2016) mostrano che le stazioni accelerometriche di Norcia, Arquata del Tronto, Campi e Forca Canapine, distanti meno di 15 km dall'epicentro delle scosse del 24 Agosto (M=6), 26 Ottobre (M=5.9) e 30 Ottobre (M=6.5), hanno registrato accelerazioni orizzontali massime del terreno (Peak Ground Acceleration o PGA) pari rispettivamente a 0.38g, 0.46g, 0.65g ed 1g, dove g è l'accelerazione di gravità. Tali valori sono sino a 3 volte maggiori della PGA attribuita a quella zona con la valutazione probabilistica della pericolosità sismica (tra 0.275g e 0.300g).

La discrepanza è ancora più accentuata se si considerano gli spettri di risposta elastici, i quali definiscono le accelerazioni subite dagli edifici in relazione al loro periodo naturale di oscillazione. Tale parametro dipende dalla configurazione strutturale del manu-

Tabella 1 - Elenco dei principali terremoti ($M > 5.5$ o $I > VIII$) avvenuti dall'anno 1000 in Umbria e Marche. M =Magnitudo, I_{max} =Intensità massima (MCS). Dati presi da Rovida et alii. (2015) e da <http://www.ingv.it> per eventi recenti.

Anno	Zona epicentrale	M	I_{max}	Vittime	Anno	Zona epicentrale	M	I_{max}	Vittime
1276	Orvietano	5.6	VIII-IX	numerose	1781	Cagiese	6.4	X	300
1279	Camerino	6.3	X	moltissime	1785	Umbria meridionale	5.7	VIII-IX	alcuni
1298	Reatino	6.2	X	centinaia	1789	Valtiberina	5.8	IX	oltre 500
1328	Norcia	6.4	X	circa 4000	1799	Appennino Marchigiano	6.1	IX-X	85
1352	Monterchi	6.4	IX	2000 - 3000	1832	Valle del Topino	6.3	X	40-70
1353	San Sepolcro	6.0	IX		1859	Norcia	5.5	VIII-IX	101
1389	Bocca Serriola	6.0	IX	numerose	1917	Valtiberina	5.9	IX-X	20
1458	Valtiberina	5.8	VIII-IX	molto numerose	1930	Senigallia	5.8	VIII-IX	18
1599	Valnerina	6.0	IX	numerose	1943	Marche meridionale Abruzzo	5.8	IX	20 - 30
1639	Amatrice	5.9	X	circa 500	1979	Valnerina	5.9	VIII-IX	5
1672	Riminese	5.6	VIII	200	1997	Appennino Umbro-Marchigiano	6.0	IX	11
1690	Ancoretano	5.6	VIII-IX	una decina	1997	Appennino Umbro-Marchigiano	5.7	VIII-IX	
1695	Bagnoregio	5.8	IX	200 (tsunami a Bolsena)	2016	Marche meridionali Lazio	6.0	X-XI	299
1703	Appennino Umbro-Reatino	6.7	XI	circa 10000	2016	Appennino Umbro-Marchigiano	5.9	X	
1703	Aquilano	6.7	X		2016	Appennino Umbro-Marchigiano	6.5	XI	
1730	Valnerina	5.9	IX	oltre 200					
1741	Fabrianese	6.2	IX	una decina					
1751	Appennino Umbro-Marchigiano	6.3	X	una decina					

fatto ed in particolare dalla sua altezza, tanto che può essere approssimativamente stimato dividendo per 10 il numero di piani. In tal modo, un edificio di 10 piani oscilla con un periodo di circa 1 secondo e così via. Lo spettro di risposta riportato in figura 3 mostra che per i periodi naturali attorno a 0.3 secondi (corrispondenti ad edifici di 3-5 piani), l'accelerazione orizzontale prodotta dalla scossa del 24 Agosto (descritta dalle curve rossa e blu nel grafico) ha raggiunto valori tra 1 e 2g, giustificando i gravissimi danni osservati. Infatti, il patrimonio edilizio della dorsale appenninica è prevalentemente costituito da

edifici relativamente bassi, che hanno maggiormente risentito dello scuotimento sismico. D'altra parte, lo spettro di risposta teorico previsto dalle normative vigenti (Norme Tecniche per le Costruzioni, DM 14/1/2008 e successiva Circolare 617/2009) e costruito in base alla PGA valutata con la procedura probabilistica, prevede un'accelerazione massima di circa 0.7g (il tratto orizzontale della linea verde tracciata in figura 3). La discrepanza tra lo spettro di risposta osservato e lo spettro teorico, previsto dalla normativa vigente, è ancora più marcata nel caso riportato in figura 4, che si riferisce alla scossa del

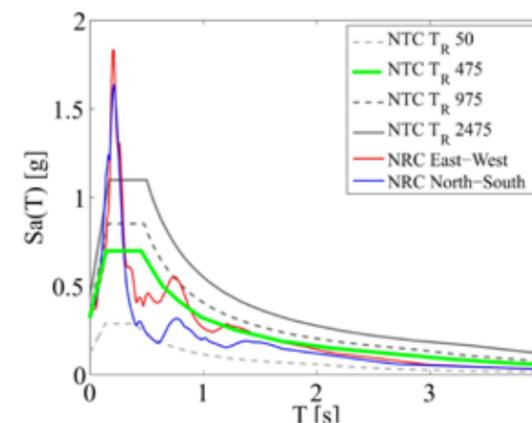


Fig. 3 - Andamento delle accelerazioni orizzontali (S_a) in rapporto al periodo naturale di oscillazione degli edifici (T). Le curve rossa e blu descrivono lo spettro delle accelerazioni registrate dalla stazione accelerometrica di Norcia (NRC) in direzione rispettivamente Est-Ovest e Nord-Sud in occasione del terremoto del 24 Agosto 2016. Si noti il picco di accelerazione per periodi naturali attorno a 0.3 secondi, compatibili con il periodo proprio di oscillazione di edifici di 3-5 piani. Le linee nere rappresentano gli spettri elastici di progetto definiti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare, il tracciato verde è lo spettro di riferimento, costruito in base alla PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Informazioni più dettagliate sono riportate in ReLUIS-INGV Workgroup, 2016.

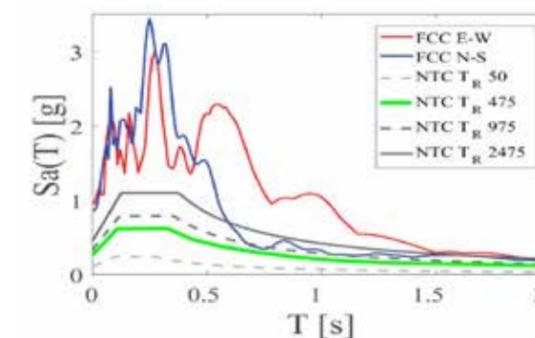


Fig. 4 - Andamento delle accelerazioni orizzontali (S_a) in rapporto al periodo naturale di oscillazione degli edifici (T). Le curve rossa e blu descrivono lo spettro delle accelerazioni registrate dalla stazione accelerometrica di Forca Canapine (FCC) in direzione rispettivamente Est-Ovest e Nord-Sud in occasione del terremoto del 30 Ottobre 2016. In questo caso l'accelerazione spettrale ha raggiunto e superato 3g per periodi naturali attorno a 0.3 secondi. Come nella figura precedente, il tracciato verde è lo spettro elastico teorico di riferimento, costruito in base alla PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Informazioni più dettagliate sono riportate in ReLUIS-INGV Workgroup, 2016. Secondo tale rapporto, se le registrazioni mostrate in figura venissero confermate dai controlli tecnici sugli strumenti, questo sarebbe il più forte scuotimento mai osservato in Italia.

30 Ottobre 2016 (maggiori dettagli sono riportati in ReLUIS-INGV Workgroup, 2016).

Le evidenze mostrate sopra e le argomentazioni espresse in lavori precedenti dovrebbero indurre gli esperti del DPC e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) a rivedere le carte di pericolosità attuali. Però, a questo riguardo, nel sito dell'INGV si può leggere: *cambiare le carte attuali sarebbe molto complicato perché i sismologi non sono tenuti a conoscere quale possa essere il terremoto massimo che ci si può attendere in una data zona.*

Questa giustificazione non sembra accettabile. Una qualsiasi persona di buon senso tende a pensare che se una zona sismogenetica ha generato scosse di una data intensità, vuol dire che ospita faglie capaci di generare nuovamente terremoti di quelle dimensioni. Siccome nessun tipo di algoritmo statistico può permettere di escludere (o ritenere poco probabile) che questo avvenga in qualsiasi istante, è necessario che (per un elementare senso di prudenza, al di sopra di qualsiasi analisi scientifica) nelle zone implicate gli edifici siano costruiti in modo da poter re-

sistere per lo meno alle intensità massime registrate in passato. Non è un caso che questo ragionamento ci abbia portato a elaborare carte di pericolosità che sono poi risultate compatibili con i danni effettivamente riscontrati nelle zone recentemente disastrose (Mantovani et al., 2014b). Se i tecnici operanti sul territorio avessero considerato tali carte, è ragionevole pensare che gli effetti dei danni sui manufatti successivamente edificati o ristrutturati sarebbero stati sicuramente inferiori a quelli osservati.

La risposta del DPC alle varie sollecitazioni ricevute per aggiornare le carte di pericolosità, è stata quella di concedere all'INGV un cospicuo finanziamento per fondare il Centro di Pericolosità Sismica e tramite questo esaminare il problema. Questa iniziativa (basata sull'assunzione arbitraria che le conoscenze più avanzate sul problema siano possedute dall'Ente sopra citato) non ha certo favorito una serena valutazione critica delle carte vigenti, in quanto per procedere a eventuali revisioni gli autori di tali carte (INGV) dovrebbero ammettere di avere precedentemente scelto una metodologia inadeguata. Anche se

in teoria la revisione potrebbe essere fatta in collaborazione con la comunità scientifica, la possibilità che opinioni diverse da quelle dell'INGV siano prese in seria considerazione sembrano essere molto limitate.

La realizzazione di un nuovo modello di pericolosità sismica, denominato MPS16, è stato annunciato dal suddetto Centro nell'Aprile 2015 e dovrebbe essere pubblicato nel presente anno. In ogni caso, si tratterà di un semplice aggiornamento della procedura probabilistica PSHA, cioè la stessa su cui sono basate le attuali carte di pericolosità.

A questo riguardo, è confortante sapere che ci sono professionisti e imprese di costruzioni che hanno la possibilità di valutare l'efficacia di tali carte senza essere condizionati da pressioni di parte. Con notevole soddisfazione (purtroppo avvelenata dalle tragedie sismiche di Agosto e Ottobre),

abbiamo ricevuto varie comunicazioni da parte di professionisti che hanno operato nelle zone terremotate con cui ci è stato segnalato che gli effetti osservati sul terreno sono compatibili con quelli indicati dalle carte da noi compilate per le Marche e l'Umbria e (come descritto sopra), cioè valori molto superiori a quelli previsti dalle carte ufficiali. Alcuni professionisti ci hanno anche confidato che nei loro interventi edilizi precedenti avevano assunto come obiettivo un livello di sicurezza più elevato rispetto a quello indicato dalle carte ufficiali (da loro ritenuto sottostimato).

Le considerazioni riportate in questa nota sono state presentate in una pubblica conferenza tenuta a Siena il 23 novembre scorso presso l'Accademia dei Fisiocritici, come iniziativa congiunta di quel Centro Culturale e dell'Università di Siena.

Opere citate

Cornell C.A. (1968) - *Engineering seismic risk analysis*. Bull. Seism. Soc. Am., 58: 1583-1606.

Galli P, Peronace E. & Tertuliani A. (2016) - *Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 24 Agosto 2016 di Amatrice in scala MCS*. Roma, rapporto congiunto DPC, CNR-IGAG, INGV, 15 pp.

Geller R.J., Mulargia F. & Stark P.B. (2015) - *Why We Need a New Paradigm of Earthquake Occurrence*. In: Morra G., Yuen D.A., King S.D., Lee S.-M. & Stein S. (eds.), *Subduction Dynamics: From Mantle Flow to Mega Disasters*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ. doi: 10.1002/9781118888865.ch10.

Gomez Capera A.A., D'Amico V., Meletti C., Rovida A. & Albarello D. (2010) - *Seismic Hazard Assessment in Terms of Macroseismic Intensity in Italy: A Critical Analysis from the Comparison of Different Computational Procedures*. Bulletin of the Seismological Society of America, 100:1614-1631.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V. & Fabbri P. (2012) - *Potenzialità sismica della Toscana e definizione di criteri per interventi di prevenzione*. Regione Toscana, Centro stampa Giunta Regione Toscana, Firenze (<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/index.shtml>).

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbri P., Martelli L., Baldi P. & Bacchetti M. (2013) - *Assetto tettonico e potenzialità sismica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana*. Regione Toscana e Regione Emilia-Romagna, Centro Stampa- Regione Emilia-Romagna, pagg. 168. (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/servizio-geologico-sismico-suoli>) e (<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/index.shtml>).

Mantovani E., Viti M., Cenni N. & Babbucci D. (2014a) - *Revisione delle mappe di pericolosità sismica: alcune idee per la Toscana e l'Emilia-Roma-*

na. Il Geologo, Giugno.

Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A. & Falciani F. (2014b) - *Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Umbro-Marchigiano*. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Università di Siena (<http://goo.gl/RdH6DJ> - parte 1 - e <http://goo.gl/ORR70E> - parte 2).

McGuire R. K. (1978) - *FRISK: Computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources*. U. S. Geol. Surv. Open File Report, 78-1007, pagg. 71.

Mulargia F. & Geller R.J. (eds.) (2003) - *Earthquake science and seismic risk reduction*. NATO Science Series, Vol. 32, Kluwer Academic Publ., pagg. 338.

Panza G.F. & Peresan A. (2016) - *Difendersi dal terremoto si può. L'approccio Neo-Deterministico*. EPC S.r.l. Socio Unico, Roma, ISBN: 978-88-6310-738-8.

ReLUIS-INGV Workgroup (2016) - *Preliminary study on strong motion data of the 2016 central Italy seismic sequence V6*. (disponibile in <http://www.reluis.it>).

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (eds.) (2016) - *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGVIT-CPTI15>

Rugarli P. (2014) - *Validazione strutturale. Vol.1, Aspetti generali*. EPC Editore, Roma.

Stein S., Geller R.J. & Liu M. (2012) - *Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it*. Tectonophysics, 562-563: 1-25.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M. & Boschi E. (2011) - *Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code*. Bull. Seismol. Soc. Am., 101: 1885- 1911.

Viti M., Mantovani E., Babbucci D., Tamburelli C., Cenni N., Falciani F. & Vannucchi A. (2009) - *Stime avanzate di pericolosità sismica nell'Appennino settentrionale*. Etrurianatura, 6: 39-47.

La parola all'immagine



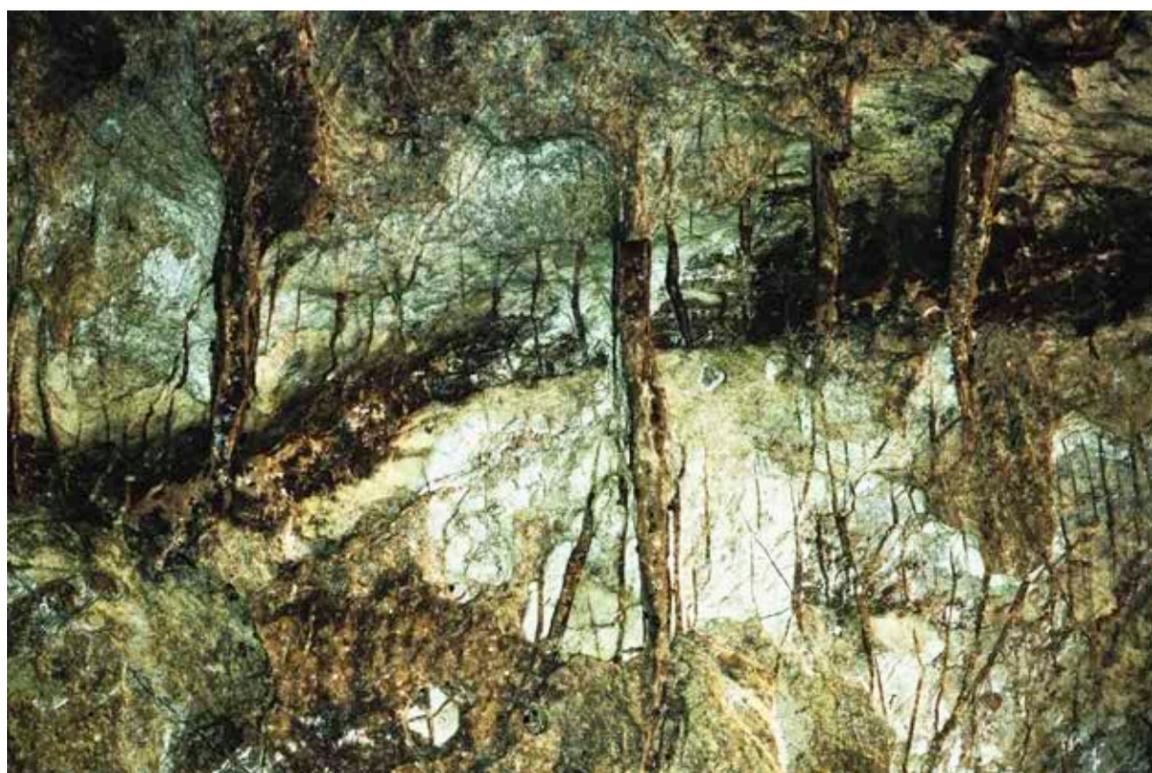
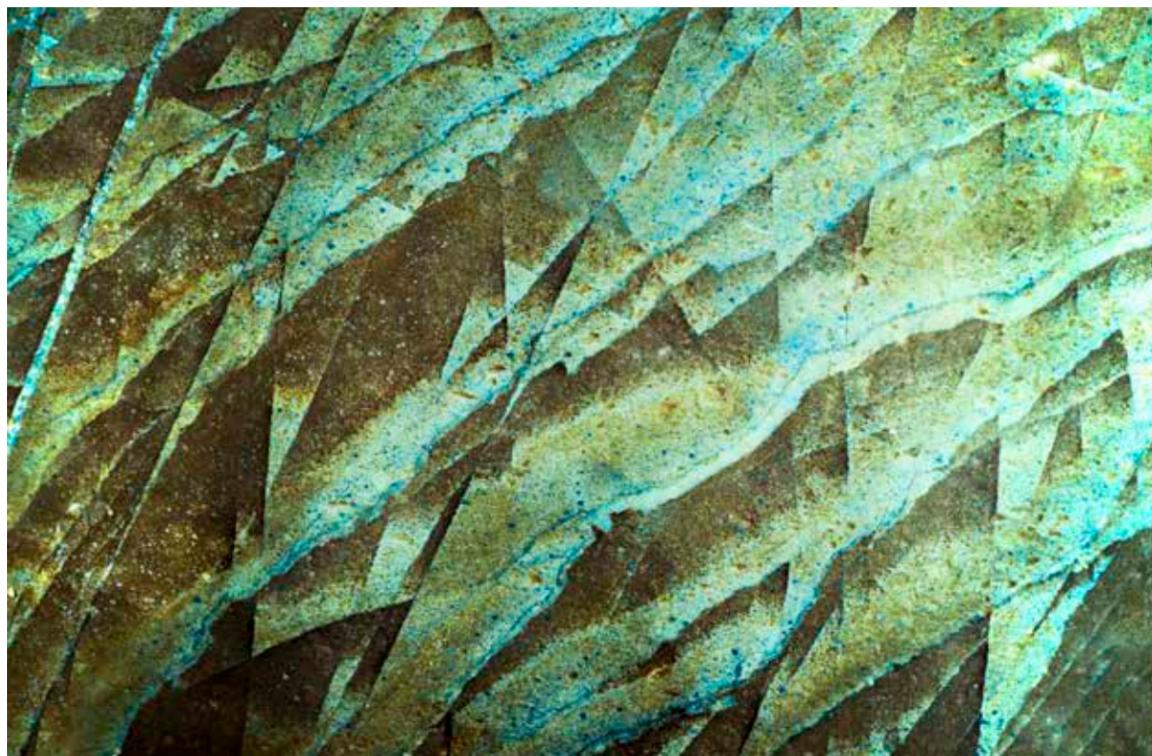
Cinciarella: *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758)

Foto di Giovanni Bencini

Natura e arte, un binomio insospettato ricco di fascino

Giovanni Bencini







Schede naturalistiche



Cincia bigia: *Poecile palustris* (Linnaeus, 1758)
Foto di Giovanni Bencini

Il Padule di Rosia: un ambiente da ripristinare

Leonardo Favilli, Andrea Benocci, Sandro Piazzini, Giuseppe Manganelli

Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Via Mattioli, 4 - 53100 Siena

La Piana di Rosia

Insieme al Piano di Orgia, la Piana di Rosia (Fig. 1) è tutto ciò che rimane di un'ampia zona paludosa, definitivamente bonificata nell'800, che si estendeva lungo il medio corso del Fiume Merse e di alcuni suoi affluenti (Torrente Rosia e fossi Luco e Serpenna), da Ampugnano fin quasi a San Lorenzo a Merse. Si trattava di un'area di grande valore paesaggistico e naturalistico, caratterizzata dalla presenza di numerose specie animali tipiche delle zone umide. Testimonianze di questa ricchezza si trovano nel trecentesco Statuto della Società del Padule d'Orgia (che si occupava della gestione dei terreni e delle acque della Piana di Rosia) e nel manoscritto inedito del naturalista

senese Augusto Andreucci (pubblicato nel 1993 a cura di Alessandro Naldi), che in un'escursione effettuata nel maggio del 1900, così descrive la Piana di Rosia: “*Che magnifico aspetto presentava la pianura sotto il suo bel manto primaverile! Dovunque il verde con tutte le sue gradazioni: dal verde scuro degli alberi al verde pallido delle immense estensioni di lino fiorito! ... dovunque un trillare di uccelli in amore. Le allodole in alto, nell'azzurro cupo del cielo, cantavano ferme sopra i loro nidi nascosti fra l'erbe. I passerini volavano e rivolavano d'albero in albero chiamandosi e prendendo parte a quella festa della natura ... Piccoli rigagnoli in cui nuotavano ogni sorta di anfibi e rettili s'incrociavano, scomparivano fra il verde per riapparire di nuovo portando dovunque la freschezza con le loro acque. E noi, tutti entusiasti da quell'abbondanza di fiori e d'animali, raccogliamo ad ogni*



Fig. 1 - Il Padule di Rosia, visto da Stigliano (Foto G. Cappelli).

passo una nuova erba, un nuovo insetto ... Così attraversiamo campi e campi sotto il limpido cielo... saltando piccoli fossi nei quali abbondavano le sanguisughe.” (Andreucci, 1898-1903: 97-98).

A partire dal secondo dopoguerra profonde trasformazioni agrarie hanno radicalmente modificato l'aspetto di questo territorio, portando alla scomparsa di un uso del suolo basato su attività di tipo tradizionale, come l'allevamento brado del bestiame, la pesca e la raccolta di cannuce, che sono state per lungo tempo elementi caratterizzanti l'ambiente, il paesaggio e l'economia di questa parte del Senese. Le immense estensioni di lino descritte da Andreucci hanno lasciato il posto a seminativi intensivi di mais e girasole; molte siepi e alberature sono state tagliate; i tanti rigagnoli che solcavano il piano sono stati canalizzati o prosciugati. In conseguenza di ciò gran parte della fauna del padule è andata perduta. Tuttavia, là dove meno pesante è stata la mano dell'uomo, è ancora possibile trovare superstiti di notevole interesse: specie rare e minacciate, sia invertebrati, sia vertebrati che hanno un enorme valore conservazionistico, poiché con il loro carattere relittuale testimoniano l'esistenza di ambienti oggi in gran parte scomparsi. Ne tenteremo qui una breve esposizione limitandoci ad alcuni gruppi maggiormente suscettibili di ricevere generale interesse.

La fauna: testimonianza di un ambiente scomparso

I molluschi comprendono specie poco diffuse in Toscana meridionale, nonché in rarefazione per l'alterazione e la scomparsa dell'habitat, come *Theodoxus fluviatilis*, *Belgrandia thermalis*, *Planorbis planorbis* e *Anisus spirorbis*. *T. fluviatilis* vive in acque, sia correnti che ferme, tra la vegetazione acquatica o aderente a supporti sommersi. Sorgenti e piccoli ruscelli rappresentano l'habitat di *B. thermalis*, una piccola specie (altezza massima della conchiglia circa 2 mm) dalla distribuzione limitata all'Italia appenninica. In



Fig. 2 - Il granchio di fiume è diffuso in Italia dalla Liguria alla Sicilia, mentre è localizzato a nord degli Appennini e in Sardegna. Estremamente attivo, riesce a vivere alcune ore fuori dall'acqua, trattenendo una riserva d'acqua nelle tasche branchiali. Fino alla metà del secolo scorso veniva pescato per scopi alimentari nel padule e nei fossi limitrofi: particolarmente ricercati erano i grossi maschi in muta (Foto G. Cappelli).

provincia di Siena, popolazioni discretamente numerose di queste due specie si trovano solo nel padule e nell'alto corso del Fiume Elsa. *P. planorbis* e *A. spirorbis* sono caratteristiche di acque lentiche perenni con abbondante vegetazione sommersa; anch'essi sono fortemente localizzati e il Padule di Rosia è una delle poche località del Senese dove è possibile trovarli. Degna di nota è infine la presenza di *Vertigo moulinsiana*, specie igrofila vivente tra le foglie e i detriti vegetali ai margini di ambienti umidi di vario tipo; è minacciata dall'eutrofizzazione e dall'inquinamento delle zone umide, dall'eccessivo prelievo idrico e dagli interventi idraulici in alveo e lungo le rive, e per queste ragioni è considerato uno dei molluschi a maggior rischio tra quelli viventi in Europa.

Due sono i crostacei decapodi viventi nel comprensorio: il gamberetto di fiume (*Palaemonetes antennarius*) e il granchio di fiume (*Potamon fluviatile*). Il gamberetto di fiume si trova quasi in tutta Italia, ma la sua distribuzione in Toscana è poco nota. Colonizza acque ferme o debolmente correnti con abbondante vegetazione sommersa. Nell'area della Piana frequenta tutti i corsi d'acqua che lo attraversano. Quanto al granchio di fiume (Fig. 2), in Italia è diffuso in modo ab-



Fig. 3 - Il luccio è, tra i pesci del padule, quello di maggior interesse. Fino a qualche decina di anni fa, durante il periodo della riproduzione, nel Rosia, nel Luco e nel Serpenna veniva pescato illegalmente ricorrendo a svariati strumenti (trappole, fiocine, forconi e fucili da caccia), essendo molto ricercato per la bontà delle carni (Foto G. Cappelli).

bastanza continuativo dalla Liguria alla Sicilia, mentre è localizzato a nord degli Appennini e in Sardegna. Vive in torrenti, fiumi, canali, fossi, laghi, stagni e risaie. Estremamente attivo, per alcune ore riesce a vivere all'asciutto trattenendo una riserva d'acqua nelle tasche branchiali. Oggi è in rarefazione ovunque, soprattutto per la perdita di qualità degli ambienti acquatici, ma in Toscana è ancora abbastanza frequente. Il Rosia, il Serpenna e il Luco ospitano ancora popolazioni discretamente numerose di questa specie.

L'abbondanza di acqua, rappresentata da torrenti, canali, fossi e laghetti agricoli, sostiene una fauna a insetti acquatici ricca e diversificata. Uno dei gruppi più vistosi è quello degli Odonati, comunemente noti col nome di libellule. Almeno dodici specie sono presenti tra la Piana vera e propria, il Piano di Orgia e le limitrofe risaie lungo il Fiume Merse. La più comune è *Ischnura elegans*, specie di piccole dimensioni presente in tutte le zone umide del padule, in particolare nei tratti con acque ferme o a corrente moderata. In questi ambienti si rinvengono altre piccole specie tra le quali *Platynemis pennipes* e le più grandi *Orthetrum cancellatum* e *Sympetrum depressiusculum*. Dove la corrente è più vivace e la vegetazione riparia arborea e arbustiva è più sviluppata,

come in lunghi tratti del Rosia e del Serpenna, si trovano libellule caratteristiche di acque correnti, prime fra tutte le *Calopteryx* dalle colorazioni metalliche nere, marroni, blu e verdi. Interessante è la presenza di *Coenagrion mercuriale* e di *Oxygastra curtisii*. La prima è sporadica in Toscana, essendo conosciuta in poche località della parte centro-settentrionale della regione; la seconda è una specie molto rara in Italia. Entrambe sono minacciate in Europa, in Italia e in Toscana; il Padule di Rosia, quindi, costituisce un'area di primaria importanza per la sopravvivenza di queste due libellule.

I boschetti ripari sono frequentati da *Apatura ilia*, la più interessante tra le farfalle che vivono nel padule. È una specie caratteristica degli ambienti umidi, diffusa in Italia nelle regioni settentrionali e centrali fino al Lazio e all'Abruzzo. In Toscana è localizzata ed è nota prevalentemente per la parte centro-meridionale della regione. Gli adulti volano in maggio-giugno e in agosto-settembre con due generazioni annuali mentre le larve si sviluppano a spese delle foglie di salici e pioppi.

Le specie ittiche presenti nelle acque della Piana sono diciassette. Le più importanti sono tre entità autoctone: l'anguilla (*Anguilla anguilla*), il luccio italiano (*Esox cisalpinus*) e la tinca (*Tinca tinca*).

Ben note ai pescatori locali erano le anguille del Serpenna; fino a una trentina di anni fa, infatti, se ne pescavano di taglia notevole e di oltre 2 kg di peso. Oggi l'anguilla è sempre abbastanza frequente in questo torrente così come nel Rosia, sebbene non sia più facile trovarne di grandi dimensioni. Anche nei corsi d'acqua del Senese, come è stato registrato in tutta Europa, si è verificata una diminuzione di questa specie, probabilmente dovuta ad alcuni parassiti e all'eccessivo prelievo.

Fino a pochi anni fa si pensava che in Europa fosse presente una sola specie di luccio, il luccio boreale (*Esox lucius*). Nel 2011 è stata descritta una nuova specie, il luccio italiano, endemica della penisola italiana, simile al luccio boreale ma ben distinta su base morfologica e genetica. Il luccio italiano è presente nel Padule di Rosia (Fig.

3), seppure con un numero minore di esemplari rispetto al passato; frequenta acque ferme o a debole scorrimento, con fondo sabbioso o fangoso e ricca presenza di vegetazione sommersa ed emersa; si riproduce e trascorre la fase giovanile nei piccoli corsi d'acqua, prima di disperdersi lungo il corso del Fiume Merse. La presenza di questo luccio nel padule è nota da tempo: è attestata già negli anni '40 del 1900 e probabilmente è autoctona.

Quasi scomparsa del tutto, invece, è la tinca. Si tratta di una specie con un vasto areale, che comprende gran parte dell'Europa e l'Asia centrale fino alla Siberia. In molte regioni italiane, inclusa la Toscana, era diffusa negli ambienti lacustri e nel tratto medio-inferiore dei fiumi, ma oggi è scomparsa quasi ovunque per la perdita di qualità di questi ambienti. Frequenta acque ferme o a lento decorso, con fondo fangoso e abbondante presenza di vegetazione acquatica di canali, fossi, fiumi, laghi, stagni e paludi. Fino agli inizi del 1900 era molto comune nel Senese e con il luccio e l'anguilla era il pesce d'acqua dolce più frequentemente commercializzato nei mercati locali (per questo motivo veniva anche allevata in stagni e peschiere); il suo prelievo era disciplinato da apposite normative: così, ad esempio, nel vicino Padule della Selva, corrispondente a parte dell'odierno Pian del Lago, la pesca alla tinca veniva concessa in affitto annuale dal Governo del Granduca di Toscana ai maggiori offerenti. Non esistono documenti che testimonino se, anche nel Padule di Rosia, la pesca alla tinca fosse oggetto di una particolare normativa; tuttavia dallo Statuto della Società del Piano di Orgia, risulta che era severamente vietato collocare nasse in tutti i fossi del padule.

La carpa (*Cyprinus carpio*), la lasca (*Protochondrostoma genei*), l'alborella (*Alburnus arborella*), la scardola padana (*Scardinius hesperidicus*), il carassio (? *Carassius gibelio*), il cobite (*Cobitis bilineata*), il pesce gatto nero (*Ameiurus melas*), il pesce gatto punteggiato (*Ictalurus punctatus*), il persico sole (*Lepomis gibbosus*) e il persico trota (*Micropterus salmoides*) non fanno parte dell'ittiofauna autoctona del padule,

ma vi sono comparsi in anni più o meno recenti. Si tratta, infatti, di pesci originari del Nord America (pesce gatto bruno, pesce gatto punteggiato, persico sole e persico trota) o dell'Europa orientale e dell'Asia (carpa e carassio), oppure dell'area padano-veneta (lasca, alborella, scardola padana e cobite), introdotti volontariamente o accidentalmente in tempi più o meno recenti. Queste specie sono molto frequenti in tutto il comprensorio o addirittura abbondanti e ormai rappresentano un problema per la sopravvivenza delle specie autoctone (tendono a sostituirsi a quest'ultime in quanto più adattabili), già colpite dalle profonde alterazioni ambientali che hanno interessato il padule a partire dagli anni '50-'60 del 1900 in concomitanza con lo sviluppo di un'agricoltura di tipo intensivo.

Otto specie di anfibii vivono nel Padule di Rosia. Le rane verdi (*Pelophylax* kl. *esculentus/lessonae*) e il rospo (*Bufo bufo*) sono le più frequenti; le prime si rinvengono in qualsiasi ambiente acquatico anche artificiale, in pianura, in collina e in montagna fino oltre 1400 m. Il rospo si trova in acqua soltanto durante la riproduzione e al di fuori di questo periodo utilizza una grande varietà di ambienti come boschi, coltivi, incolti e aree urbane. È attivo quasi tutto l'anno e si muove sia di notte che di giorno, preferibilmente durante e dopo le piogge.

Abbastanza frequente è anche la raganella italiana (*Hyla intermedia*). Questo piccolo anfibio, lungo al massimo 5 cm, vive in un'ampia varietà di situazioni ambientali, caratterizzate comunque dalla presenza di buona copertura arbustiva o arborea. È attiva per gran parte dell'anno, soprattutto di notte. Durante la stagione riproduttiva (marzo-giugno) frequenta corpi d'acqua stagnanti o a debole scorrimento, come pozze anche temporanee, stagni, laghi, paludi, risaie, canali e corsi d'acqua, mentre al di fuori di questa si può trovare anche a una certa distanza dagli ambienti umidi. Di abitudini prettamente arboricole, vive tra le fronde di arbusti e alberi. Nel padule vive associata alla vegetazione riparia che cresce lungo i corsi d'acqua.

Meno frequenti risultano il rospo smeraldino (*Bufo viridis*), il tritone crestato (*Triturus cristatus*), il tritone punteggiato (*Lissotriton vulgaris*) e la rana agile (*Rana dalmatina*). Il rospo smeraldino è l'anfibio più importante da un punto di vista conservazionistico. Pur frequentando ambienti forestali o aperti anche antropizzati, dal livello del mare fino a oltre 2000 m di quota, in Italia è tendenzialmente legato alle pianure costiere e alle vallate fluviali. È attivo da marzo a novembre-dicembre, preferibilmente al crepuscolo e di notte. Come il rospo è prettamente terricolo e si porta in acqua solo per la riproduzione. Il tritone crestato e il tritone punteggiato si riproducono e vivono per buona parte dell'anno in acque ferme o debolmente correnti dalle quali si allontanano molto poco, trovando rifugio e passando l'inverno al riparo della vegetazione che cresce lungo le sponde. Venendo a mancare questa, diminuiscono drasticamente le probabilità di sopravvivenza per questi due anfibii. Oggi entrambi sono meno frequenti nel padule rispetto al passato, per il taglio di arbusti e alberi lungo le rive, per la ripulitura di fossi e canali e per l'inquinamento provocato dalle sostanze chimiche utilizzate in agricoltura.

Agli inizi del 1900 il naturalista senese Augusto Andreucci ricordava di aver raccolto esemplari di ululone appenninico (*Bombina pachypus*) du-



Fig. 4 - La scomparsa dell'ululone appenninico dagli ambienti acquatici della Piana di Rosia è imputabile alle profonde trasformazioni ambientali che hanno interessato quest'area a iniziare dal secondo dopoguerra con la meccanizzazione in agricoltura e il passaggio da un'economia di tipo agropastorale a un'economia di tipo industriale (Foto G. Cappelli).

rante un'escursione attraverso il Piano di Rosia. L'ululone (Fig. 4) è un anfibio endemico della penisola italiana, dove è diffuso dall'Appennino Ligure e dall'Emilia Romagna all'Aspromonte. Spiccatamente acquatico, si allontana poco da pozze anche temporanee, abbeveratoi, fontanili, stagni e corsi d'acqua a debole scorrimento situati in aree forestali o aperte che utilizza per la riproduzione. Oggi l'ululone, non solo non si trova più nel padule, ma negli ultimi venti anni è scomparso dalla maggior parte della Toscana e da gran parte d'Italia. Si tratta, infatti, di uno degli anfibii più minacciati della fauna europea; le cause del suo declino sono ancora poco note ma probabilmente sono molteplici: scomparsa dei siti riproduttivi (piccole raccolte d'acqua), trasformazioni ambientali (es. sviluppo delle monocolture), inquinamento, diminuzione delle precipitazioni atmosferiche, distruzione di uova e predazione degli adulti da parte dei cinghiali e azione di alcuni funghi parassiti responsabili di patologie mortali a carico della cute, capaci di portare all'estinzione di intere popolazioni nell'arco di pochi anni.

Tre sono le specie di rettili esclusivamente o prevalentemente acquatiche: la trachemide (*Trachemys scripta*), testuggine originaria dell'America settentrionale, la biscia dal collare (*Natrix natrix*) e la biscia tassellata (*Natrix tessellata*), autoctone. La



Fig. 5 - La biscia dal collare è uno dei serpenti più comuni; nel Padule non è raro osservarla lungo le rive dei corsi d'acqua (Foto G. Cappelli).



Fig. 6 - Tra novembre e febbraio gruppi, spesso numerosi, di pavoncelle si alimentano nei prati umidi del padule (Foto G. Cappelli).

biscia dal collare (Fig. 5) è uno dei serpenti più comuni in Italia. Pur preferendo le zone umide (corsi d'acqua, laghi, stagni e aree allagate) si rinviene anche in boschi, coltivati, incolti, mosaici di colture agrarie e vegetazione naturale, ecc. Decisamente acquatica è, invece, la biscia tassellata, una specie ampiamente diffusa in Italia dove è presente in tutte le regioni escluse la Valle d'Aosta, la Sicilia e la Sardegna. Vive in laghi, stagni, pozze, paludi, risaie, fiumi, torrenti e canali, preferibilmente dal livello del mare a 600 m di quota.

L'avifauna è ricca e annovera un elevato numero di specie di notevole interesse conservazionistico minacciate in Europa, in Italia e in Toscana. I più caratteristici nidificanti legati agli ambienti acquatici sono il germano reale (*Anas platyrhynchos*), la folaga (*Fulica atra*), la gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*), l'usignolo di fiume (*Cettia cetti*), la cannaiaola (*Acrocephalus scirpaceus*), il cannaieccione (*Acrocephalus arundinaceus*) e la cutrettola (*Motacilla flava*). Il germano reale e la folaga nidificano lungo i corsi d'acqua che attraversano la Piana di Rosia. Gli stessi ambienti sono utilizzati per la riproduzione dalla gallinella d'acqua e dall'usignolo di fiume, passeriforme legato a una rigogliosa vegetazione arbustiva e arborea ripariale. La cannaio-

la e il cannaieccione vivono nelle fasce di canneto, come ad esempio lungo il Fosso Luchetto e il Fosso Cannaio. I prati umidi, i margini dei fossati e le colture irrigue sono frequentati dalla cutrettola, specie che in Toscana si trova principalmente lungo la fascia costiera, nelle pianure interne e in Val di Chiana. Originariamente legata agli ambienti paludosi, si è adattata ad ambienti artificiali dotati di scarsa naturalità come le colture intensive di mais e barbabietola da zucchero, tanto che in molte zone dell'Italia è ormai divenuta pressoché esclusiva di questi habitat.

Dipendenti dalla vegetazione riparia e dai boschetti umidi per l'alimentazione e per la riproduzione sono: il lodolaio (*Falco subbuteo*), un rapace di interesse conservazionistico che nidifica utilizzando vecchi nidi di gazza (*Pica pica*) e cornacchia grigia (*Corvus cornix*) posti su alberi di notevoli dimensioni e che per questa abitudine ha risentito negativamente della lotta a queste specie considerate nocive; l'assiolo (*Otus scops*) e il picchio rosso maggiore (*Dendrocopos major*), legati alle pioppete che crescono lungo il corso del Serpenna e del Rosia; l'usignolo (*Luscinia megarhynchos*) e il rigogolo (*Oriolus oriolus*), entrambi molto comuni in tutto il padule.



Fig. 7 - L'airone cenerino è uno degli uccelli più comuni in inverno anche se qualche esemplare si può osservare durante tutto l'anno (Foto G. Cappelli).

Altrettanto ricco è il contingente di uccelli svernanti, sebbene le modificazioni ambientali abbiano portato alla riduzione di siti favorevoli per lo svernamento di molte specie caratteristiche delle zone umide che in passato utilizzavano regolarmente questo comprensorio. A causa di ciò, a eccezione del beccaccino (*Gallinago gallinago*) e della pavoncella (*Vanellus vanellus*) (Fig. 6), sono scomparsi o sono divenuti rari molti limicoli, quali la pittima minore (*Limosa lapponica*), la pittima reale (*Limosa limosa*), il totano moro (*Tringa erythropus*), la pantana (*Tringa nebularia*) e la pettegola (*Tringa totanus*) che tra '800 e '900 erano abbastanza frequenti, come attestano alcuni reperti dalla Piana di Rosia attualmente conservati nella collezione ornitologica del Museo dell'Accademia de' Fisiocritici di Siena. Stessa sorte hanno subito altre specie di uccelli acquatici colpite, oltre che dalle alterazioni ambientali, da un'eccessiva pressione venatoria; è il caso delle oche, che svernavano nel padule ed erano così numerose da essere considerate un problema per le produzioni agricole al punto che lo statuto della Società del Piano di Orgia prevedeva la nomina annuale di due uomini che da dicembre a febbraio dovevano cacciare le oche ogni giorno e con ogni mezzo. Non sappiamo a quali specie di oche venisse fatto riferimento nello statuto, ma è presumibile si trattasse per lo meno dell'oca granaiola (*Anser faba-*



Fig. 8 - La nutria scava gallerie orizzontali sulle sponde dei corpi d'acqua nelle quali alleva la prole e si nutre di piante coltivate (riso, mais, barbabietola da zucchero, girasole, patate, ecc.): in situazioni di elevata densità può, quindi, arrecare danni all'integrità degli ambienti naturali e alle colture (Foto G. Cappelli).

lis), la più comune delle oche che fino agli inizi del 1900 svernavano regolarmente in Toscana. Oggi gli svernanti più comuni sono gli aironi, presenti con quattro specie - la garzetta (*Egretta garzetta*), l'airone guardabuoi (*Bubulcus ibis*), l'airone bianco maggiore (*Ardea alba*) e l'airone cenerino (*Ardea cinerea*) (Fig. 7) -, e alcuni passeriformi tra i quali il lucherino (*Spinus spinus*), mentre meno frequenti o di presenza irregolare risultano il migliarino di palude (*Emberiza schoeniclus*) e alcuni rapaci rari o poco frequenti in Toscana come il gufo comune (*Asio otus*), l'albanella reale (*Circus cyaneus*), il falco pellegrino (*Falco peregrinus*) e lo smeriglio (*Falco columbarius*).

Durante le migrazioni primaverili e autunnali compaiono molti altri uccelli. Tra quelli legati agli ambienti acquatici si ricordano: la marzaiola (*Anas querquedula*), di comparsa irregolare tra la fine di febbraio e i primi di marzo; il tarabusino (*Ixobrychus minutus*), legato ai folti canneti; la nitticora (*Nycticorax nycticorax*) e l'airone rosso (*Ardea purpurea*), che al pari degli altri aironi frequentano di preferenza i filari di pioppi ai margini dei corsi d'acqua.

Autentiche rarità, infine, attestano l'importanza che il Padule di Rosia ha rivestito nel passato e potrebbe rivestire per l'avifauna con il recupero e il ripristino di habitat umidi. A titolo di esempio si ricordano le catture di specie occasionali come la cesena fosca (*Turdus eunomus*), passeriforme acci-

dentale in Italia, avvenute alla fine del 1800, e la recente osservazione di un esemplare di cicogna bianca (*Ciconia ciconia*), specie in espansione in Toscana dove ha ricominciato a nidificare grazie anche a interventi di allevamento e reintroduzione che lasciano ben sperare per un suo insediamento anche nella Piana di Rosia.

Poco conosciuta è la fauna a mammiferi. Le uniche due specie legate agli ambienti umidi sicuramente presenti sono la nutria (*Myocastor coypus*) e la puzzola (*Mustela putorius*).

La nutria (Fig. 8) è originaria dell'America meridionale. Ad iniziare dalla prima metà del 1800 è stata introdotta negli Stati Uniti d'America e in numerosi paesi europei. In Italia è comparsa nel 1928, quando alcuni esemplari furono importati dall'Istituto di Coniglicoltura di Alessandria allo scopo di creare allevamenti industriali per sfruttarne la pelliccia. Dopo di allora segnalazioni di individui catturati in natura sono state riportate tra la metà degli anni '60 e i primi anni '70 del 1900 per l'Emilia Romagna, il Lazio e la Toscana. L'origine della presenza della nutria nella nostra regione sembra sia dovuta all'alluvione che nel novembre 1966 distrusse i recinti di un grosso allevamento situato presso il Fiume Ombrone, nel grossetano. Negli anni successivi la specie ha colonizzato la maggior parte dei corsi d'acqua della Toscana e si è stabilita perfino in ambienti di ridotte dimensioni, anche in zone fortemente antropizzate.

La puzzola frequenta il padule per alimentarsi. In Italia non è mai molto comune; vive in ambienti boscati, spesso prossimi ad aree umide. È minacciata dalla scomparsa delle zone boscate, dal prosciugamento degli ambienti umidi, dalla meccanizzazione e dai veleni utilizzati in agricoltura e dalla ristrutturazione dei vecchi edifici che utilizza come rifugio.

Ricreare zone umide

Le zone umide, nonostante la loro notevole importanza come serbatoi di biodiversità, sono uno degli habitat più minacciati a livello mondiale.

Localizzate per lo più in aree pianiziali, sono state soggette a massicci interventi di bonifica e canalizzazione al punto che oggi sono ridotte a lembi relitti. Non stupisce, quindi, che per favorire la tutela di specie animali e vegetali di particolare interesse siano stati intrapresi molti interventi tesi a ricreare questi habitat. Nel caso di zone che tendono ad allagarsi spontaneamente o che sono utilizzate come casse di espansione (opere idrauliche che vengono realizzate per ridurre la portata di un corso d'acqua durante le piene tramite lo stoccaggio temporaneo di parte del volume dell'onda di piena), è sufficiente ridurre il reticolo di canali artificiali che favoriscono il deflusso per avere acquitrini temporanei, molto importanti per la sosta degli uccelli migratori. Se invece si desidera ottenere ambienti più stabili, occorre prevederne un ristagno di acqua sul fondo per tutto l'anno o almeno fino all'inizio di luglio onde evitare l' "effetto trappola" responsabile di causare la morte degli organismi che vi si sono insediati prima del compimento del loro ciclo vitale.

Al fine di favorire la colonizzazione da parte di piante e animali, gli stagni o le casse di espansione devono avere sponde degradanti con pendenza molto dolce e dal profilo sinuoso, cioè con insenature e penisole. Anche la profondità deve essere variabile: bassa presso le sponde e maggiore verso il centro, in modo da diversificare l'ambiente e renderlo idoneo per un maggior numero di organismi. In presenza di filari, siepi o anche alberi isolati, si può prevedere di trasformarli in isolotti scavando loro intorno. Per far sì che all'interno delle casse di espansione si conservi sempre un po' di acqua, è sufficiente anche uno scavo di 0,25 m di profondità media per ricreare nei periodi piovosi prati umidi e acquitrini temporanei in grado di attirare l'avifauna.

Interventi di questo tipo sono generalmente facili in terreni argillosi o nei quali la falda freatica è superficiale, ma sono sconsigliati in terreni ghiaiosi o sabbiosi e nei quali vi sia abbondante trasporto solido da parte dei vicini corsi d'acqua, che ne determinerebbe un più veloce interrimento. Questi interventi possono avere, tra l'altro, diverse utili ripercussioni: la realizza-

zione di casse di espansione lungo i corsi d'acqua non soltanto può consentire di ricostruire o salvaguardare le reti ecologiche facilitando la connettività tra habitat e popolazioni, ma può contribuire a ridurre il rischio idrogeologico e aumentare il valore paesaggistico dell'area, creando occasioni di svago e formazione (percorsi pedonali e ciclabili collegati ai più vicini centri urbani, aree di ristoro, sentieri botanici, osservatori ornitologici, ecc.).

Uno studio svolto nelle cave del ferrarese ha messo in evidenza un'elevata ricchezza di specie

vegetali e la presenza di ben cinque comunità acquatiche e ripariali cresciute spontaneamente in seguito agli interventi di rinaturalizzazione. Non sono rari i casi di cave rinaturalizzate che in seguito ai processi di ripristino sono divenute aree importanti per la conservazione di specie e habitat prioritari, guadagnandosi la designazione di SIC o Riserve Naturali. In altri casi, le attività ricreative vanno di pari passo con quelle produttive: le zone umide ricreate, non solo sono utilizzate per lo svago, ma anche per la realizzazione di vivai e allevamenti ittici.

Bibliografia

Andreucci A. (1898-1903) - Manoscritto inedito pubblicato a cura di A. Naldi (1993) con il titolo *Lieta giovinezza. Diario di escursioni e cacce tra campagne, boschi, borghi e vestigia del contado senese tra Otto e Novecento*. Editori dell'Acero, Empoli.

Banchi L. (1871) - *Statuti senesi scritti in volgare ne' secoli XIII e XIV e pubblicati secondo i testi del R. Archivio di Stato di Siena. II. Statuto della Gabella di Siena. Statuto della Società del Padule d'Orgia. Statuto dell'arte della lana di Radicondoli. Statuto dell'arte de' Chiavari di Siena. Statuto dell'arte de' cuoiai e dei calzolari di Siena*. Gaetano Romagnoli, Bologna.

Favilli L. & Manganelli G. (2001) - *La fauna*. In Manganelli G. & Favilli L. (a cura di), *La Montagnola Senese: una guida natu-*

ralistica. WWF Sezione Regionale Toscana, Serie Scientifica, 7: 45-67 pp.

Piazzini S., Favilli L. & Manganelli G. (2005) - *Atlante degli Anfibi della Provincia di Siena (1999-2004)*. Sistema delle Riserve Naturali della provincia di Siena, Quaderni Naturalistici, 1: 112 pp., Siena.

Piazzini S., Favilli L. & Manganelli G. (2010) - *Atlante dei Rettili della provincia di Siena (2000-2009)*. Sistema delle Riserve Naturali della provincia di Siena, Quaderni Naturalistici, 2: 112 pp., Siena.

Piazzini S., Favilli L. & Manganelli G. (2016) - *Atlante dei Pesci della provincia di Siena (2005-2014)*. Sistema delle Riserve Naturali della provincia di Siena, Quaderni Naturalistici, 5: 266 pp., Siena.

Io, il lettore



Fringuello: *Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758
Foto di Giovanni Bencini

Ad Ovest di San Gimignano: paesaggi inconsueti e memorie dimenticate

Raffaello Razzi

Via De Grada 1, 53037 San Gimignano (SI) - raffaellorazzi47@gmail.com

L'immagine di San Gimignano è indissolubilmente legata alle sue torri, che ne indicano l'antica storia medievale e ne fanno un gioiello straordinario. Anche il suo territorio, uno dei più vasti della provincia di Siena, presenta però peculiarità storiche, artistiche e paesaggistiche che lo rendono unico in tutta la Toscana. L'antico insediamento umano accertato per secoli ha fatto sì che la campagna di San Gimignano abbia ricevuto innumerevoli testimonianze dei vari periodi sto-

rici; alcune di queste memorie si trovano in zone scarsamente conosciute e pubblicizzate, meritevoli quindi di una particolare segnalazione.

Il territorio comunale è sostanzialmente caratterizzato da due aree, molto diverse l'una dall'altra dal punto di vista sia economico che paesaggistico (Fig. 1).

La prima dal Poggio del Comune (quota 624 m) degrada ad Est verso il fiume Elsa, con vallate che "si rincorrono". Essa ricopre oltre i 3/5 dell'inte-



Fig. 1 - Pianta del Comune di San Gimignano; la parte a sinistra della linea verde vede la netta prevalenza di aree boschive o non coltivate e la presenza di una popolazione residente molto ridotta.



Fig. 2 - Veduta di San Gimignano dalle prime pendici del Poggio del Comune.

ro territorio comunale e contiene il centro murato di San Gimignano e le sue periferie con la quasi totalità della popolazione. La sua campagna ha visto notevoli cambiamenti anche nei toponimi, con "castelli", "fortezze", "casali" e "osterie" nati per fini turistici da forzature sulle reali vicende storiche e invariabilmente preceduti dalla parola "antico" come certificazione di una remota nobiltà. Il panorama che la rappresenta nel mondo è quello delle torri (Fig. 2), le quali sorgono da un territorio solcato da numerosi vigneti specializzati.

L'altra area, che copre poco meno dei 2/5 del totale, si estende invece soprattutto lungo i confini dei comuni di Volterra e di Gambassi ed è caratterizzata da vasti spazi a boschi e pascoli. Più in particolare, essa comprende le propaggini del Cornocchio e del Poggio del Comune con l'ampia vallata che le separa; continua poi lungo gli affluenti del torrente *de' I Casciani*, formando un ininterrotto polmone verde con solo pochi nuclei abitati. Il depauperamento delle popolazioni rurali, che con alti e bassi ha raggiunto il suo momento più significativo negli anni 60' del secolo scorso, ha accentuato soprattutto nella vallata del Cornocchio quella riduzione del rilievo economico iniziata già dalla fine del secolo XV. La marginalizzazione di questo territorio ha avuto, comunque, l'indiscusso merito di proteggerlo dalle trasformazioni edilizie e paesaggistiche che hanno distinto invece l'altra parte del Comune più "moderna e pubblicizzata"; diretta conseguenza di tutto ciò è il mantenimento di una natura inte-

gra che ne garantisce un fascino molto sentito. Gli aspetti economici oggi derivano sostanzialmente dalle attività agricole e di agriturismo in alcuni insediamenti o in qualche casale ristrutturato.

Il presente articolo vuole portare un contributo alla conoscenza dei caratteri salienti di questa area "più isolata" (è frequentata in genere solo da cacciatori e cercatori di funghi) e alle memorie storiche che ancora vi si conservano.

Si può iniziare dal Poggio del Comune, che dal centro storico di San Gimignano mostra tutta la sua imponenza. Esso è delimitato a est dalla strada per Castel San Gimignano e a nord-nord ovest da quella per Cellole e Camporbianco. Oltre quest'ultima via, che nel medioevo collegava San Gimignano con Pisa e il suo porto, il ben conservato "paesaggio antico" continua lungo le rive del *botro dell'Acqua Calda* e del *botro dell'Inferno*.

Sostanzialmente costituito da un unico affioramento di Calcare cavernoso, il rilievo ha iniziato a individuarsi durante il Miocene Superiore insieme agli altri della Dorsale Medio-Toscana. L'arrivo del mare, all'inizio del Pliocene, interruppe il processo di formazione di strutture carsiche nel calcare e rimodellò il terreno riempiendo con sedimenti marini molte delle doline che si erano create. L'azione pluviale, responsabile del fenomeno carsico, riprese dopo il ritiro del mare pliocenico. Da questo momento anche i corsi d'acqua cominciarono quell'opera d'incisione della roccia che nel tempo avrebbe portato alla strutturazione delle strette valli della Libaia e di Castelvecchio,



Fig. 3 - Inghiottoiti formati nel suolo carsico del poggio.

con le rupi della “Scala Santa” e le pareti di *botro a' Buchi*, nonché delle ripide sponde dei botri *dell'Inferno*, *dell'Acqua Calda* e de' *i Casciani*, con la scoscesa rupe di Pietralta. L'erosione superficiale, l'alterazione e la dissoluzione del calcare sono da ritenersi inoltre responsabili della formazione d'inghiottoiti e di pianori (utilizzati per coltivazioni agricole) ricoperti da terre rosse (argille di questo colore per la ricchezza di ossidi di ferro) (Fig. 3). La presenza di questi depositi ha consentito l'impostazione di stagni di diverse dimensioni, i quali si sono rivelati utili per il mantenimento della fauna data la generale scarsità di acqua nei botri di *Castelvecchio* e *della Libaia*. Intorno agli stagni più grandi e duraturi si è inoltre sviluppata una vegetazione acquatica idonea ad ospitare numerosi insetti (diffuse sono le libellule) e anfibi (tra cui la *Rana dalmatina* e le rane verdi).

L'alto poggio che sovrasta San Gimignano è stato prezioso per il Comune medievale, sia dal punto di vista strategico, sia per le risorse economiche che poteva fornire alla popolazione. Per secoli la tenuta del *Casperano* (o *Gasperano*) è stata regolata nel suo funzionamento da pubblici ufficiali nominati dal Comune. Le *rubriche* degli Statuti comunali definivano i limiti da porsi all'e-

strazione delle pietre da costruzione, alla raccolta e alla vendita del legname, alla caccia di caprioli o lepri, alla cottura di brace e carbone da legno per gli usi domestici; elencavano, altresì, le pene per chi causava incendi o danneggiava in qualsiasi modo le piante. Gli *homines* di Libbiano, Collemusciole, Cellole, Fugnano, Bombereto, Signano, Racciano, Piscille, San Donato, Ranza, Castelvecchio *et aliis loci* (tutti borghi posti ai confini del bosco attorno a chiesette romaniche quasi sempre absidate, molte delle quali ancora esistenti - Libbiano - o con resti riconoscibili - Signano -), con età superiore ai 14 anni, venivano impegnati con giuramento registrato da un notaio a proteggere e a custodire il patrimonio forestale. Tutto il *Casperano* era diviso in 10 *prese* ben individuate nei rispettivi confini dalle *murella* e descritte con toponimi precisi. Quel reticolo di muri a secco, in gran parte conservato, ha avuto il compito non solo di delimitare zone per la custodia di greggi o altri animali domestici, ma anche di proteggere i diversi viottoli e tratturi che solcavano il territorio. Alcuni di quei toponimi si sono persi in quanto legati a persone (*campum Miglarini de Vallacchio*, *campo Segne de Libbiano*) o a punti di riferimento poi scomparsi (*podium de la quercia*, *campo del forno*); molti altri emergenti dal catasto Leopoldino del 1825, invece, sono ancora in uso (ad esempio quelli di Pietralta, Culivaldi, Piano di Castagneto, Valle Dondoli e Campo Gondoli) per cui esiste la possibilità di ricostruire sia i fatti e gli avvenimenti del passato, sia le zone e i confini del presente. Fra questi luoghi meritano essere ricordati la *Grotta dell'Eremita* (un antro giunto fino ai giorni nostri nonostante una evidente frana) e il *Romitorio* (un originario rifugio di alcuni anacoreti trasformato prima in torre di difesa del Comune e poi in uno dei poderi di proprietà del duecentesco ospedale di S. Fina) perché da essi sorgono imperiose le vicende del territorio.

Sono rimaste ancora in essere, grazie all'uso che ne è stato fatto per secoli da boscaioli e barrocciai, mulattiere che attraversano i boschi: un esempio è fornito da quella che da Cellole porta ad Acquaviva e all'antica chiesa di Libbiano, con tratti im-



Fig. 4 - Il colle su cui sorge Castelvecchio, un borgo di difficile accesso in quanto posto in *montis alpestris*. Ancora oggi questa definizione del vescovo Castelli, visitatore Apostolico della diocesi di Volterra nel 1576, appare del tutto adeguata.



Fig. 5 - La prima torre di Castelvecchio che si erge sulla collina e sulla valle.



Fig. 6 - Tra i monumenti situati entro la cinta fortificata di Castelvecchio va ricordata la chiesa di S. Frediano. L'altra canonica della zona, dedicata a San Giovanni, è stata distrutta definitivamente negli anni '70 del secolo scorso a seguito dell'impianto di un vigneto.

pervi percorribili solo a piedi; un altro da quella che collega la strada per Castel San Gimignano con “le Pianore” e “le Pianorine” (due poderi che sfruttano in gran parte i terreni ricoperti antiche doline).

Ma il percorso più importante ai fini della “penetrazione” nel Poggio del Comune è quello che conduce a Castelvecchio, un sito storico dotato di fortificazioni più volte usate nei secoli per difendersi dalle ambizioni militari di Volterra (Fig. 4). Con la realizzazione del più avanzato avamposto di Castelnuovo (prime decenni del sec. XIV), divenuto poi Castel San Gimignano, iniziò il declino politico ed economico del vecchio borgo; tale declino si accentuò nel 1353 a seguito dell'ingresso di San Gimignano tra i territori dominati da Firenze. Ovviamente, anche il percorso storico divenne meno frequentato e nel tempo si trasformò in un tratturo impervio. Oggi, un viandante che lo percorre può godere di scorci spettacolari sui ruderi e, in particolare, sulle due torri superstiti di Castelvecchio (Fig. 5). Se poi discende lo stretto corso del *botro delle Torri*, che insieme a quello *della Libaia* circonda il sito, fra pietre scivolose cadute dalle pareti e tronchi d'alberi e sterpaglie ammucchiate da piene tanto rare quanto impetuose, può ammirare ripe scoscese che incombono e intimoriscono. Molto affascinante è anche camminare sui sentieri che invariabilmente accompagnano i rii a qualche metro di distanza. Si scopre, fra l'altro, una vegetazione quanto meno inaspettata; a causa dell'inversione termica, infatti, al fondo degli stretti solchi vallivi si rinvencono faggi, aceri montani e, talvolta, addirittura rari alberi di tasso. È per salvaguardare queste particolarità naturalistiche dell'area, oltre che per tutelarne gli aspetti storici (Fig. 6), che nel 1996 è stata costituita una vasta Riserva Naturale attorno a Castelvecchio e alle propaggini ovest del Poggio del Comune; di fatto, la riserva prolunga ai giorni nostri quelle attenzioni che il Comune assicurava al *Casperano* con le *rubriche* dei suoi medievali Statuti.

Nel risalire il rio di Acquaviva, dove le numerose cascatelle e il fitto bosco inducono il timore di trovare gruppi di cinghiali o la speranza di vedere



Fig. 7 - Un'immagine dell'orrido di *botro a' Buchi*, vero canyon locale scavato dalle acque impetuose del torrente omonimo ai piedi del colle dove sorge Castel San Gimignano.

famiglie di caprioli, si genera come una sensazione di esplorare un "mondo dimenticato". La straordinaria gola di *broto a' Buchi*, sotto le pendici del colle di Castel San Gimignano, costituisce poi un vero fenomeno naturale che stupisce chi la percorre, rendendo piena ragione al termine di "orrido" che ormai ne completa la denominazione (Fig. 7).

Seguendo gli antichi sentieri è possibile giungere ad altre mète significative. Una è rappresentata dalla *Buca degli Spinai*, una dolina in cima al colle che mostra un fondo argilloso da cui emergono pietre calcaree di colore azzurro per la presenza di particolari muschi; l'altra dal *Torrino*, un gruppo di rocce "cavernose" accatastate dalla mano dell'uomo per indicare il punto più alto del Poggio (un tempo vi sorgeva un vero torrino di guardia da cui il nome).

A poca distanza dall'ammasso di pietre, su un pianoro che domina la pieve romanica di Cellole



Fig. 8 - Tane d'istrici e tassi favorite dalla natura carsica del terreno.

e la Val d'Elsa si trova l'antico casale di Poggio Attendi, attualmente abitato da stranieri. Da questa località una strada scende verso le pendici ovest del Poggio del Comune toccando prima *le Casette* e poi il *Castagneto* e il *Pian della Spina*, poderi fondati alla fine del Cinquecento dal Comune per avere nuove entrate con le quali far fronte ai debiti verso Firenze.

All'interno di boschi a medio e alto fusto, formati da querce (roverella), cerri e castagni con "sprazzi" di folta macchia mediterranea ed arbusti di ginepro, corbezzolo e corniolo (ben distinguibili nella stagione invernale per il colore vivo dei loro frutti), si trovano comunemente tane di tassi o di istrici (Fig. 8), inghiottitoi (ad esempio, la *buca del Cane* di Castagneto) talvolta pericolosi e piccoli specchi d'acqua all'interno di doline riempite da *terra rossa*. Frequenti su tutto il Poggio del Comune sono ancora le *carbonaie*, cioè quegli spazi subcircolari costituiti da un terreno "annerito" dai fuo-



Fig. 9 - Ruederi del podere *i Casaloni* posti nel pieno dei boschi del Poggio del Comune



Fig. 10 - Sulle pendici del Cornocchio si trovano comunemente casolari in piena rovina e abbandono



Fig. 11 - L'aperta campagna del Cornocchio; sullo sfondo si riconoscono i poderi del Palagione e di Monte Pescini seguiti dal Poggio del Comune.

chi che generazioni di boscaioli hanno acceso per produrre braci e carbone.

Non è affatto raro vedere emergere improvvisamente dalla boscaglia i ruderi di edifici rurali come *i Casaloni*, *Culivardi* o *le Verzure*, ancora identificabili in mezzo ai rovi con le loro stalle per gli animali, la struttura del forno esterno all'edificio principale o il vuoto del pozzo di raccolta delle acque piovane (Fig. 9). In prossimità di questi vecchi poderi, definitivamente abbandonati intorno alla metà del secolo scorso, il bosco non ha completato la sua "riconquista" e continua a mantenere i segni della colonizzazione con residui alberi da frutto (meli soprattutto), aceri *maritati*, castagni e praterie nelle quali sorgono numerose piante di pino nero.

Di fronte a noi si staglia ormai il crinale del Cornocchio, dove corre il confine con Volterra, con i suoi boschi, i suoi casali ridotti a ruderi (Fig. 10) o solo parzialmente ristrutturati, i suoi ampi spazi (Fig. 11). La lunga vallata, che dalle pendici del colle di Castel San Gimignano giunge fino alla strada per Camporbiano, aveva nel passato un'economia talmente fiorente da giustificare la presenza di diversi siti religiosi. Le due canoniche che gravitavano su Castelvecchio erano infatti accompagnate a poca distanza dall'oratorio di *S. Iacopo e Cristoforo di Montepiccino* (chiesetta soggetta alla pieve della Nera e poi a quella di Tresche) e da altri edifici religiosi posti nei boschi del crinale volterrano e oggi scomparsi; la chiesa absidata di *S. Pietro a Libbiano*, esistente dal 1085, è situata invece sulla parte ovest della vallata. Non solo i casolari conservati ma anche quelli in rovina (si ritrovano in genere nella boscaglia dove sono preavvisati da qualche gruppo di cipressi e da qualche pianta domestica "imbastardita") hanno alle spalle una storia che spesso si deduce dai toponimi ancora esistenti (Palagione, Colle Pescini, Malaguidina, Papea, Monte Pescini). Poderi come Citerna o Romitorio vantano poi particolari vicissitudini che li legano, più strettamente di altri, alla storia di San Gimignano.

I territori menzionati portano evidenti tracce di coltivazioni di grano, orzo, spelta e bia-

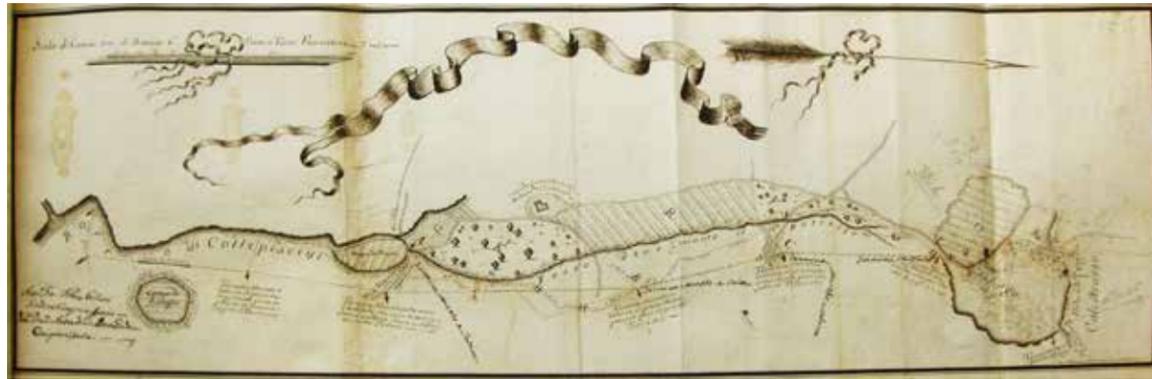


Fig. 12 - Il cabreo che riproduciamo copre l'intera zona dove è esistito il Lago di Montepescini. Archivio Storico Comune di San Gimignano, n. 970, filza seconda di negozi, 1782-1786, punto 52, Relazione di Francesco Rossi d'Empoli, 8 ottobre 1789. Autorizzazione alla pubblicazione del 16/9/2015.



Fig. 13 - Il famoso *piatto* dove si pesava il pesce del Lago di Montepescini. Sullo sfondo è osservabile l'acqua che rimane ancora oggi nel pianoro nel periodo invernale.

da, che un tempo convivevano con quella della vite. Vivace era anche l'allevamento di pecore e capre, nonché di maiali che trovavano rifugio e sostentamento nei boschi. Anche se è difficile da immaginare, certamente la popolazione della vallata si è dedicata per alcuni secoli all'attività ittica legata alla presenza del *lago di Montepescini* di proprietà comunale (la prima traccia che la documenta risale al febbraio del 1273 quando il Comune affittava l'uso del lago a privati; Fig. 12). Tale attività prevedeva l'acquisizione del pesce e la sua pesatura da parte di ufficiali comunali (in figura 13 si può osservare il rialzo, denominato

il piatto, dove avveniva quest'ultima operazione), nonché il suo trasporto alla *Bottega del Pesce* (situata nella piazza principale di San Gimignano) e la sua vendita ad un prezzo imposto. La presenza sulla riva ovest del lago della chiesetta di Montepescini, citata fin dal 1181, conferma l'utilizzo secolare del lago. Nel Cinquecento esso iniziò a ridurre la sua superficie; con l'interrimento, che raggiunse in breve tempo, perse ogni rilievo economico.

La strada che attraversa la vallata è quella che serve ancora per collegarsi con San Gimignano, Volterra, Gambassi e Pisa. Proprio davanti al suo

sbocco ne inizia un'altra, sempre essenzialmente boscosa, dove edifici storici come la torre di Larniano e quella della *Villa* (oggi entrambe fattorie e agriturismi) si alternano con siti dimenticati come i ruderi del cimitero omonimo o quello del *mulino dei Mocali*. Siamo ormai giunti in una zona "cuscinetto" fra territori a netta prevalenza naturalistica e altri che hanno già acquisito un carattere economico più marcato.

Il *botro dell'Inferno*, con le sue forre e le sue collinette, rappresenta un luogo ideale per funghi e cinghiali; spesso vi si avvertono emanazioni di acido solfidrico provenienti dalle *putizze* del vicino *botro dell'Acqua Calda*. E' proprio la presenza di queste emanazioni, tutt'altro che episodiche, a fornire una spiegazione al rinvenimento di carcasse di animali sul fondo degli avvallamenti. L'area è stata per secoli oggetto di ricerche minerarie di diversa natura, tutte però con esito finale infruttuoso. Già nel 1273 in San Gimignano si era scatenata la cosiddetta "caccia all'argento" per fornire al Comune gli stessi mezzi economici che si invidiava a Volterra; la cosa si ripeté all'inizio dell'Ottocento quando la Società Mineraria Fiorentina si impegnò nella ricerca di vari minerali del rame (tra cui il cosiddetto "ossido di rame nero") ai fini industriali. Di queste ricerche e di altre che seguirono rimangono tracce sul terreno: scendendo il *rio di Camporbiano* (Fig. 14), che raccoglie i corsi d'acqua della zona, sono ben visibili ad esempio alcune "buche" di escavazione (Fig. 15), mentre dall'altra parte del rio, abbarbicati sulla costa scoscesa, si scorgono i resti degli edifici costruiti per i minatori.

Il folto bosco nel vallone, che fa da confine con il Comune di Gambassi, lambisce una lingua di terreno fra botri chiamata *Costa di S. Vittore* perché qui, oltre 1000 anni fa, si trovava un monastero femminile con questo nome (dopo il suo trasferimento entro le mura di San Gimignano il monastero fu dedicato a S. Girolamo). Scendendo ancora il *rio di Camporbiano* arriviamo a Gradasso, dove nel bosco possono vedersi le rovine dell'antico mulino ad acqua (Fig. 16) che richiama la memoria della scomparsa *pieve di S. Lazzero*



Fig. 14 - Il *rio di Camporbiano*. Il corso d'acqua assume nomi diversi nei suoi diversi tratti. Dopo aver corso nel *botro di San Martino* diventa *rio dell'Acqua Calda* e solo dopo aver ricevuto le acque del *botro dell'Inferno* prende il nome di *rio di Camporbiano*; a seguito della confluenza di rii provenienti dalla zona di Gambassi è chiamato infine torrente de *i Casciani*.



Fig. 15 - Una delle cosiddette *Buche del Rame*. Si conoscono ancora tre gallerie abbastanza profonde derivate dalla attività estrattiva della zona; due di esse, a livello delle acque del rio, sono spesso del tutto inagibili perché ripiene d'acqua.



Fig. 16 - Una macina del mulino ad acqua di Gradasso, toponimo che richiama la memoria della scomparsa *pieve di S. Lazzero a Gradasso*.



Fig. 17 - Resti della Torraccia nella valle che drena le acque prospicienti il Santuario di Pancole.

a Gradasso (pur in mancanza di una documentazione concreta, si ricorda che una traccia della sua presenza la possiamo trovare nel toponimo di

Testi consultati e di riferimento

Archivio Storico del Comune di San Gimignano – *Libri di Provisone* 56 (28/02/1273), 79 (28/07/1300), 963 (15/04/1772).

Bonelli Conenna L., Brilli A. & Cantelli G. (2004) – *Il paesaggio toscano; l'opera dell'uomo e la nascita di un mito*. Monte dei Paschi di Siena, Siena.

Brilli A. (1986) – *Viaggiatori stranieri in terra di Siena*. Monte dei Paschi di Siena, Siena.

Centauro G.A. (1999) – *Toscana Immaginata, ambiente urbano*. Lalli Editore, Poggibonsi.

Chellini L. (1918) – *San Gimignano e dintorni*. Dal Re, Modena.

Fiumi E. (1961) – *Storia economica e sociale di San Gimignano*. Olschki, Firenze.

un luogo vicino che ha conservato la denominazione di *Chiesa vecchia*). Lungo il corso di un altro rio, che drena le acque sotto Pancole e il suo storico Santuario, confusi nella boscaglia troviamo i ruderi della *Torraccia*, una piccola torre quadrata in filarotto che in origine poteva costituire una stazione di guardia in prossimità di un percorso perduto nel tempo e che in seguito si è probabilmente trasformata in molino (Fig. 17).

Se dal punto di confluenza del *botro dell'Inferno* con quello *dell'Acqua Calda* continuiamo a scendere il torrente, andiamo a incappare in una strada che davvero ha fatto la storia, e non solo quella di questa zona. All'altezza del *Molino della Madonna*, dove si trovano i ruderi di un piccolo ponte sul botro che è divenuto *dei Casciani*, si incontra infatti la *via Francigena* nel tratto che collegava la 'mansione' *Sce. Gemiane* a quella di *Sce Maria Glan* (Santa Maria a Chianni nelle immediate vicinanze di Gambassi); nel 990 questo tratto fu percorso dall'arcivescovo di Canterbury Sigeric nel suo viaggio di rientro da Roma. Oggi si sta recuperando il percorso con diffuse segnalazioni sul territorio indirizzate a un numero sempre maggiore di pellegrini e viandanti, con la speranza che queste iniziative non siano causa di modifiche inappropriate e inopportune ad una realtà fragile e facilmente modificabile.

Lucchesi E. (1938) – *Il monastero di S. Girolamo in San Gimignano dalle origini ai nostri giorni: 1337-1938*. Tipografia Gualandi per Sordomuti, Firenze.

Pecori L. (1853) – *Storia della terra di San Gimignano*. Tipografia Galileiana, Firenze.

Razzi R. (2007) – *Gli enti ecclesiastici e assistenziali a San Gimignano. Le proprietà fondiarie dal sec. XVI alla dissoluzione dei patrimoni*. La Tipografica, Poggibonsi.

Repetti E. (1845) – *Dizionario geografico fisico storico della Toscana*. Tofani, Firenze.

Savi P. & Pitiot F. (1851) – *Rapporti sulle miniere de' monti di Torri e d'Iano*. Tipografia Mariano Cecchi, Firenze.

Targioni Tozzetti G. (1775) – *Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana per osservare le produzioni naturali, e gli antichi monumenti di essa*. Cambiagi, Firenze.

Viaggiando per musei



Nitticora: *Nycticorax nycticorax* Linnaeus, 1758. Individuo maturo
Foto di Giovanni Bencini

Una nuova 'missione' per il Sistema Museale Universitario Senese

Davide Orsini¹, Francesca Vannozzi²

¹ Università di Siena, Direttore Centro servizi CUTVAP, via Aldo Moro 2 – 53100 Siena / davide.orsini@unisi.it

² Università di Siena, Presidente Sistema Museale Universitario Senese (SIMUS) / francesca.vannozzi@unisi.it

L'evoluzione del sapere e la sua diversificazione in ambiti distinti ha portato nei secoli le università più antiche, come quella senese, a divenire custodi di straordinarie collezioni di beni culturali, costruiti o acquistati per finalità di ricerca o didattiche. Tali beni hanno avuto poi sorti diverse, seguendo quelle del Gabinetto o dell'Istituto dove erano conservati, in alcuni casi abbandonati e altrove valorizzati.

Negli ultimi anni – sicuramente grazie anche alla promulgazione del Codice Urbani del 2004

e al conseguente riconoscimento degli strumenti scientifici quali beni culturali – questo straordinario quanto poco conosciuto 'giacimento' di beni universitari sta vivendo una nuova esistenza, inserito in percorsi espositivi che i vari Atenei vanno a costituire *ex novo* o aggiornando quelli predisposti in un passato più o meno recente.

L'Università di Siena, che da decenni è impegnata in un progetto di salvaguardia del patrimonio storico-scientifico senese attraverso le



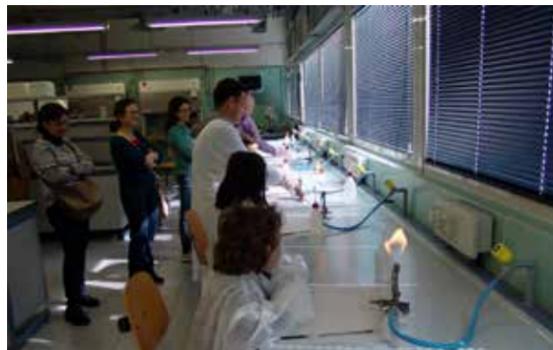
professionalità presenti nel Centro servizi per la Tutela e la Valorizzazione dell'Antico Patrimonio scientifico (CUTVAP), ha fatto la scelta di riunire i propri musei e collezioni in un Sistema Museale Universitario Senese (SIMUS), formalizzato anche dall'articolo 54 dello Statuto universitario. Il SIMUS afferisce alla Fondazione Musei Senesi, con la quale ha stipulato nel luglio 2009 un protocollo d'intesa finalizzato alla realizzazione di progetti congiunti in ambito museale ed educativo con l'obiettivo di valorizzare il patrimonio del Sistema Museale. E come Sistema sta operando sia sul fronte della tutela e della catalogazione dei beni culturali con schede ministeriali, sia su quello di esperienze e laboratori che utilizzano tali beni per divulgare il sapere scientifico, creare conoscenza, attrarre e orientare nuovi pubblici.

In tal senso il SIMUS vive in prima persona i cambiamenti che in questi anni stanno caratterizzando i musei italiani e in particolare quelli universitari. Da una situazione di sostanziale abbandono, con rischio di perdita, del patrimonio

culturale scientifico, nella quale il CUTVAP ha operato per salvare beni strumentali provenienti dall'ospedale Santa Maria della Scala e da Istituti universitari, siamo passati all'istituzione del Sistema Museale attraverso il riconoscimento del patrimonio universitario quale risorsa attiva per l'insegnamento e la ricerca.

Ma la sfida più nuova e importante che il Sistema sta affrontando vede i musei universitari divenire protagonisti non solo nella ricerca, nella didattica e nella fondamentale e necessaria attività di conservazione, studio ed esposizione dei propri beni, ma soprattutto in processi di coinvolgimento e inclusione sociale che generino benessere per la stessa Società.

È la cosiddetta Terza Missione delle Università, nella quale l'Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR) ha collocato anche i musei di Ateneo con le loro attività in grado "di produrre impatti positivi anche al di fuori delle proprie comunità universitarie e anche al di là della valorizzazione economica della conoscenza" (ANVUR 2013).



E su questa strada il SIMUS lavora da alcuni anni ed è giustamente rappresentato nel processo di autovalutazione (scheda SUA-RD Terza missione) che l'ANVUR ha attivato nel 2015, con le sue iniziative rivolte ai diversi *target* di pubblico che ben rientrano tra le attività definite di *Public engagement*, ovvero in quell'insieme di "attività senza scopo di lucro con valore educativo, culturale e di sviluppo della società" (ANVUR 2015).

Ecco dunque che le campagne di catalogazione promosse dal SIMUS negli anni, la conoscenza dei beni scientifici e della loro storia, che è anche

la storia delle diverse discipline, il loro inserimento in attività didattiche e divulgative rappresentano uno straordinario substrato culturale sul quale porre le basi per questa nuova Missione. Una Missione che trae forza dalla partecipazione del SIMUS ai progetti della "rete dei Musei universitari italiani", finanziati dal Miur con l'obiettivo di promuovere un sempre maggiore "dialogo tra musei e contesto globale, che faccia leva sull'identità specifica delle loro collezioni per promuovere un'apertura alle attività di lifelong learning rivolte a pubblici differenziati". Dopo la catalogazione informatizzata dei beni con schede predisposte dall'ICCD, i musei del SIMUS stanno ora lavorando a un progetto sulla divulgazione della cultura scientifica nella società e sull'orientamento al metodo e alla cultura scientifica rivolto a giovani.

Ma ciò che dà maggiore forza al SIMUS è la storia che si 'legge' nell'immenso patrimonio che esso conserva e che deriva dall'esperienza di anni di lavoro con gli studenti e gli insegnanti delle scuole, con i giovani universitari, con gruppi e associazioni presenti nella società civile.

Già nel 2008, nel *Quaderno dell'offerta didattica del SIMUS* era scritto: "I nostri musei ospitano e gestiscono un variegato patrimonio di materiali storico-scientifici che si presta a percorsi didattici imperniati sul grande tema della scienza: dalle collezioni botaniche agli strumenti medici, dai modelli didattici alle collezioni di meteoriti, dai preparati anatomici ai reperti geologici. [...] Le proposte educative e le iniziative presentate intendono offrire un ampio supporto ai programmi didattici annuali della scuola, con il fine di avvicinare e appassionare i giovani al museo scientifico", e – possiamo aggiungere – di svolgere un'utile attività di orientamento universitario in entrata.

È evidente quindi che il Sistema Museale Universitario Senese sia orientato da anni in maniera decisa verso la proposta di percorsi di visita e laboratori didattici creati ad hoc, che nel rispetto della storia dei musei e delle loro collezioni e delle professionalità degli operatori, si basino sulla esplorazione e sulla scoperta diretta da parte degli insegnanti e dei propri studenti, cioè su un

approccio costruttivistico in quanto l'apprendimento è il risultato di una diretta relazione e interazione con un ambiente progettato per stimolare e attivare una molteplicità di intelligenze.

E in tal senso è di particolare interesse il progetto "L'educazione scientifica per una cittadinanza attiva e consapevole" (ESCAC), giunto quest'anno alla sua V edizione e realizzato con la Fondazione Musei Senesi e con la collaborazione dell'Ufficio Scolastico Regionale per la Toscana-Ambito Territoriale della Provincia di Siena. Un progetto che rappresenta una continua sfida per quanto riguarda la capacità del SIMUS e dell'Istituzione scolastica di cooperare per individuare modelli metodologici che riescano a interessare i giovani alle scienze, in maniera attiva e partecipata e al contempo semplice e divertente.

A tale progetto, in tempi più recenti si sono affiancate #MuseoFam – I musei universitari per la famiglia, con iniziative rivolte a interi nuclei familiari e al pubblico non scolastico, e #MuseoS'Tud – I musei universitari per gli studenti, organizzato in collaborazione con l'Azienda Regionale per il

Diritto allo Studio. Nel primo caso le realtà museali restano aperte durante il fine settimana e organizzano vari laboratori coinvolgendo nonni, genitori e figli con lo scopo di scoprire il bello della scienza attraverso giochi e piccoli esperimenti, mentre nel secondo caso i protagonisti sono i giovani universitari che hanno modo, attraverso le collezioni dei musei del SIMUS, di conoscere il patrimonio storico, artistico e scientifico di Siena e del suo Ateneo, anche in un'ottica di orientamento alle lauree magistrali e ai corsi post laurea.

Il Sistema Museale Universitario Senese ha quindi dinanzi a sé una nuova grande opportunità culturale: far sì che i propri beni possano divenire un efficace strumento di comunicazione con l'esterno, con il territorio e con quanti lo abitano o lo vivono anche per tempi relativamente brevi. In questo modo potrà raggiungere risultati importanti nella ricerca e divulgazione scientifica, nella didattica ma soprattutto in quei nuovi ambiti che riguardano l'inclusione e il coinvolgimento attivo dei cittadini, collaborando così a creare nuove professionalità, nuovi saperi e un benessere diffuso.

Testi di riferimento e approfondimento

ANVUR (2013) – *Rapporto sullo stato del sistema universitario e della ricerca: "II.2.3, la Terza Missione nelle Università"*.

ANVUR (2015) – *La valutazione della terza missione nelle università italiane - Manuale per la valutazione*.

Centro servizi CUTVAP (a cura di) (2008) – *Quaderno dell'offerta didattica. Sistema Museale di Ateneo. Università degli Studi di Siena*. Nuova Immagine Editrice, Siena..

Orsini D. (2013) – *ESCAC, un nuovo progetto di educazione scientifica nella politica culturale del Sistema Museale Universitario Senese*. Museologia scientifica rivista dell'Associazione Nazionale Musei Scien-

tifici (ANMS), nuova serie, 7 (1-2): 138-142 - ISSN 1123-265X.

Vannozi F. (2015) – *Per una cittadinanza attiva e consapevole: le collezioni anatomiche per la didattica di ieri e di oggi*. *Medicina nei secoli arte e scienza*, 27 (2): 701-710.

Vannozi F. (a cura di) (2010) – *SIMUS, Sistema Museale Universitario Senese*. Fondazione Musei Senesi, Guide/10, Silvana Editoriale, Milano.

Vannozi F. (a cura di) (2008) – *Il bello e la divulgazione della scienza. L'inesplorato mondo delle collezioni scientifiche. Viaggio tra i beni storico scientifici dei musei universitari senesi (DVD)*. Direzione Generale Politiche Formative Beni e Attività culturali della Regione Toscana, Firenze.

Etruria*natura*

NORME PER GLI AUTORI

La rivista si articola nelle seguenti parti:

LA PAGINA DELL'ACCADEMIA

Riservata a tutto quanto concerne l'Accademia delle Scienze di Siena detta dei Fisiocritici.

CONTRIBUTI

Comprende articoli sui più svariati aspetti del patrimonio naturale, con particolare riferimento a quello della Toscana meridionale.

IL PUNTO DELLA SITUAZIONE

Ospita articoli che fanno il punto su qualsiasi iniziativa riguardante la conoscenza, la tutela, la valorizzazione e la gestione del patrimonio naturale.

ORIZZONTI

Ospita idee, progetti e interventi su argomenti relativi al patrimonio naturale che meritano di essere spiegati e approfonditi.

IO, IL LETTORE

Spazio aperto per opinioni, domande, critiche, ecc.

LA PAROLA ALL'IMMAGINE

Spazio riservato a illustrazioni fotografiche su uno specifico tema di carattere naturalistico, di volta in volta indicato dal periodico.

SCHEDE NATURALISTICHE

Articoli dedicati a specifici elementi del patrimonio naturale: ad es. una specie minerale, vegetale o animale, un bosco, un ghiacciaio, un bacino fluviale, ecc.

VIAGGIANDO PER MUSEI

Sezione riservata alla Fondazione Musei Senesi e specificamente rivolta ai musei di carattere scientifico naturalistico.

ETRURI@NATURA

Spazio aperto ad argomenti relativi al patrimonio naturale con riferimento al web.

Tutti gli articoli, completi di illustrazioni e didascalie, devono essere redatti secondo le seguenti modalità:

- titolo generale: font Helvetica, grassetto, corpo 12;

- nome dell'autore/i: sotto al titolo in font Helvetica, corsivo, corpo 12;
- recapito ed eventuale e-mail dell'autore/i: sotto al nome/i in font Helvetica, tondo, corpo 12;
- il testo va caratterizzato in font Helvetica, corpo 12, interlinea 13, capoversi con rientro, titoli dei sotto-capitoli in maiuscolo non staccati dal testo successivo;
- il testo può essere fatto precedere da un flash introduttivo (non un riassunto) che ne faccia emergere il contesto di origine: scritto che dovrà essere in font Helvetica, corpo 12, interlinea 13 e indicato in colore;
- eventuali note vanno messe a fine documento prima delle citazioni bibliografiche;
- i riferimenti bibliografici nel testo vanno scritti tra parentesi con il solo cognome dell'autore/i seguito dall'anno di pubblicazione, es.: (Rossi 1982); (Rossi & Bianchi 1991); quando gli autori sono più di due: (Rossi et al. 1994, 1998);
- le citazioni bibliografiche per esteso – presentate, a seconda dei casi, come “Testi citati”, “Testi consultati” o “Testi di riferimento e approfondimento” – devono essere poste alla fine del documento. Esempi: Raup D.M. & Stanley S.M. (1971) - Principles of Paleontology. Freeman, New York; Longo G. (2007) - The Tunguska Event. Comet/Asteroid Impacts and Human Society (Bobrowsky P.T. & Rickman H., eds.), 303.330, Springer, Berlin/Heidelberg; Del Zanna P. (1989) - I fenomeni carsici nel bacino dell'Elsa, Boll. Soc. Geol. Ital., 18: 315-323; Galassi S., Rossi M. & Provini A. (1993) - Metalli pesanti e microinquinanti organici nei sedimenti e negli organismi del Po. Acqua Aria, 23 (2): 619-625. Quando i testi sono pubblicati in riviste, i titoli di queste vanno messi in tondo; seguono il numero del volume, il numero tra parentesi dell'eventuale fascicolo di volume e, dopo due punti, la pagina iniziale e finale dell'articolo collegate da una lineetta;
- le illustrazioni dovranno avere una risoluzione non inferiore a 300 dpi ed essere collocate in file separati da quelli del testo e delle loro didascalie.

Gli articoli, trasferiti su CD e accompagnati a una loro copia cartacea, dovranno essere inviati a **Etruria*natura***, Accademia dei Fisiocritici, piazzetta Silvio Gigli, 2 - 53100 Siena (tel./fax 0577.47002; e-mail: etrurianatura@unisi.it).

Il Comitato editoriale si riserva ogni facoltà di accettarli e, senza alterarne in alcun modo i contenuti, di apportarvi eventuali modifiche per armonizzarli con il carattere della rivista. In ogni caso, prima di essere pubblicati i testi saranno trasmessi via e-mail agli autori per la loro ultima revisione e approvazione.

Etruriananatura

